

GISELA MARIA PEDRASSANI ANDREJOW

MINIJARDIM CLONAL DE *Pinus taeda* L.

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais, Área de Concentração: Silvicultura.

Orientador:
Prof. Dr. Antonio Rioyei Higa

CURITIBA
2006

A minha filha Amanda, razão dos meus dias.

DEDICO

DEDICAÇÃO ESPECIAL

Pessoas entram na nossa vida, por uma razão, por uma estação
ou por uma vida inteira.
Quando você percebe qual o motivo, você sabe o que fazer com cada pessoa ...
Relacionamentos de uma vida inteira ... Ensinam lições para a vida inteira.
Coisas que você deve construir para ter uma formação emocional sólida.
Sua tarefa é aceitar a lição, amar a pessoa e colocar o que você aprendeu em uso,
em todos os outros relacionamentos e áreas de sua vida. Obrigado, por ser parte de
minha vida! A você Emilio, dedico este trabalho.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Antonio Rioyei Higa pela orientação, paciência, disponibilidade e acima de tudo, pela confiança durante o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Silvicultura, pelo aceite como discente.

A Rigesa Divisão Florestal pela oportunidade da realização deste trabalho.

Ao Etsuro Murakami e ao Ricardo Mayvorme Paim pelo apoio no trabalho e acima de tudo, pelo incentivo

Ao Prof. Dr. Luiz Mário Fedalto da Coordenação de Medicina Veterinária da UnC/Canoinhas, pelos ensinamentos específicos em estatística e apoio nas análises estatísticas.

Aos mais que amigos e companheiros de trabalho Waldemar Assis da Veiga, Celso Luiz dos Santos, Marcos Mizva e Vilson da Silva.

Aos colegas de pós-graduação pelo incentivo e amizade.

Aos membros da banca de qualificação e defesa por ter emprestado um pouco do seu conhecimento para melhoria deste trabalho.

A minha irmã Daniela, pela amizade, companheirismo e incentivo. Pelas correções e por ser uma pessoa tão especial.

Aos meus queridos Auri e Carmela pelo amor, aprendizado, paciência, ajuda nos momentos difíceis e principalmente por me ensinar a seguir em frente, fazendo de cada momento o mais importante da nossa vida.

A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

A DEUS pelo olhar atento e cuidadoso em todos os momentos.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	vii
LISTA DE QUADROS.....	viii
LISTA DE GRÁFICOS.....	ix
RESUMO.....	xi
ABSTRACT.....	xii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	4
2.1 PROPAGAÇÃO VEGETATIVA DE PINUS.....	4
2.2 ESTAQUIA E MINIESTAQUIA.....	5
2.3 SISTEMA HIDROPÔNICO.....	6
2.4 FATORES QUE AFETAM O ENRAIZAMENTO DAS ESTACAS.....	8
2.4.1 Fatores ambientais.....	9
2.4.1.1 Luz.....	9
2.4.1.2 Temperatura.....	10
2.4.1.3 Umidade.....	12
2.4.1.4 Substrato.....	13
2.5 FATORES LIGADOS A PLANTA.....	14
2.5.1 Influência da espécie.....	15
2.5.2 Idade da cepa, manejo de poda e brotações – aspectos fisiológicos.....	16
2.5.3 Condições fisiológicas das miniestacas.....	18
2.5.4 Época de coleta e posição de retirada das miniestacas.....	19
2.5.5 Influência do estado nutricional.....	20
2.6 NUTRIÇÃO.....	21
2.6.1 Nitrogênio (N).....	22
2.6.2 Fósforo (P).....	22
2.6.3 Potássio (K).....	23
2.6.4 Magnésio (Mg).....	24
2.6.5 Manganês (Mn).....	24
2.6.6 Cálcio (Ca).....	25
2.6.7 Boro (B).....	25
2.6.8 Ferro (Fe).....	26
2.6.9 Zinco (Zn).....	27
2.6.10 Cobre (Cu).....	27
2.7 SOLUÇÕES FERTILIZANTES.....	28
2.7.1 pH e condutividade elétrica.....	29
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	32
3.1 DESCRIÇÃO DO LOCAL.....	32
3.2 ESTRUTURAS DE MINIJARDIM.....	32
3.3 ESCOLHA DAS PROGÊNIES DE <i>P. taeda</i>	33
3.4 OBTENÇÃO E CULTIVO DE MINICEPAS DE <i>P. taeda</i> EM MINIJARDIM CLONAL.....	33
3.5 FERTILIZAÇÃO POR SUBIRRIGAÇÃO.....	34
3.6 COLHEITA, PREPARO E MANEJO DE MINIESTACAS.....	35
3.7 DETERMINAÇÕES REALIZADAS.....	36
3.8 DELINEAMENTO E ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	38

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	40
4.1 POTENCIAL DE ENRAIZAMENTO DE MINISTACAS ORIGINADAS DE BROTAÇÃO APICAL DE MUDAS JOVENS DE DEZ FAMÍLIAS DE <i>P. taeda</i> USANDO DOIS TIPOS DE SUBSTRATOS.....	40
4.2 DETERMINAÇÃO DE SOLUÇÃO NUTRITIVA PARA MINIJARDIM CLONAL DE <i>P. taeda</i>	43
4.2.1 Produtividade do minijardim de <i>P. taeda</i>	45
4.2.2 Enraizamento de ministacas de <i>P. taeda</i>	51
4.2.3 Avaliação das soluções nutritivas.....	55
4.2.4 Comportamento nutricional das minicepas.....	60
5 CONCLUSÕES.....	66
REFERÊNCIAS.....	67
ANEXOS.....	79

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 -	ENRAIZAMENTO MÉDIO DE MINIESTACAS PROVENIENTES DE BROTO APICAL DE MUDAS COM 90 DIAS DE IDADE, DE DEZ FAMÍLIAS DE POLINIZAÇÃO ABERTA DE <i>P. taeda</i> , AVALIADAS 70 DIAS APÓS O ESTAQUIAMENTO EM DOIS TIPOS DE SUBSTRATOS (PLANTMAX® E VERMICULITA®).....	40
TABELA 2 -	PORCENTAGEM DE ENRAIZAMENTO E NÚMERO DE MINIESTACAS COLHIDAS DE MINICEPAS DE <i>P. taeda</i> CULTIVADAS EM SISTEMA DE SUBIRRIGAÇÃO COM DIFERENTES SOLUÇÕES FERTILIZANTES, EM NOVE COLETAS, AVALIADAS AOS 70 DIAS	44

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 -	CONCENTRAÇÃO DE ELEMENTOS EM TECIDO FOLIAR E NA SOLUÇÃO FERTILIZANTE PARA <i>Pinus sp.</i>	29
QUADRO 2 -	COMPARAÇÃO DAS MÉDIAS DE MINIESTACAS COLHIDAS DE MINICEPAS DE <i>P. taeda</i> , CULTIVADAS EM SISTEMA DE SUBIRRIGAÇÃO COM DIFERENTES SOLUÇÕES NUTRITIVAS EM NOVE COLETAS.....	45
QUADRO 3 -	COMPARAÇÃO DAS MÉDIAS DE MINIESTACAS COLHIDAS DE MINICEPAS DE <i>P. taeda</i> , EM NOVE COLETAS, CULTIVADAS EM SISTEMA DE SUBIRRIGAÇÃO COM DIFERENTES SOLUÇÕES NUTRITIVAS.....	48
QUADRO 4 -	COMPARAÇÃO DAS MÉDIAS DE ENRAIZAMENTO DE MINIESTACAS COLHIDAS DE MINICEPAS DE <i>P. taeda</i> , CULTIVADAS EM SISTEMA DE SUBIRRIGAÇÃO COM DIFERENTES SOLUÇÕES NUTRITIVAS.....	51
QUADRO 5 -	COMPARAÇÃO DAS MÉDIAS DE ENRAIZAMENTO POR COLETAS DE MINIESTACAS COLHIDAS DE MINICEPAS DE <i>P. taeda</i>	53
QUADRO 6 -	RELAÇÃO DECRESCENTE PARA ELEMENTOS NA COMPOSIÇÃO DE SOLUÇÕES NUTRITIVAS PARA FERTILIZAÇÃO DE <i>Pinus sp.</i>	55

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1-	RELAÇÃO ENTRE O pH DO SOLO E A SOLUBILIDADE DE DIVERSOS NUTRIENTES.....	30
GRÁFICO 2-	PORCENTAGEM DE ENRAIZAMENTO DE MINIESTACAS PROVENIENTES DA COLETA DE BROTAÇÃO APICAL DE MUDAS DE DEZ FAMÍLIAS DE POLINIZAÇÃO ABERTA DE <i>P. taeda</i> , AVALIADAS AOS 70 DIAS DE CULTIVO EM DOIS TIPOS DE SUBSTRATO (PLANTMAX® E VERMICULITA®).....	42
GRÁFICO 3-	NÚMERO TOTAL DE MINIESTACAS COLHIDAS DE MINICEPAS DE <i>P. taeda</i> EM NOVE COLETAS, CULTIVADAS EM OITO SOLUÇÕES NUTRITIVAS NO SISTEMA DE SUBIRRIGAÇÃO.....	46
GRÁFICO 4-	COMPARAÇÃO ENTRE O NÚMERO DE MINIESTACAS COLHIDAS DE MINICEPAS DE <i>P. taeda</i> CULTIVADAS EM SISTEMA DE SUBIRRIGAÇÃO, COM USO DAS SOLUÇÕES NUTRITIVAS 1 E 5 E TOTAL ACUMULADO DE MINIESTACAS EM NOVE COLETAS.....	47
GRÁFICO 5-	COMPARAÇÃO ENTRE O NÚMERO DE MINIESTACAS COLHIDAS EM CADA COLETA E O NÚMERO TOTAL DE MINIESTACAS COLHIDAS DE MINICEPAS DE <i>P. taeda</i> , CULTIVADAS EM SISTEMA DE SUBIRRIGAÇÃO COM DIFERENTES SOLUÇÕES NUTRITIVAS NAS NOVE COLETAS.....	49
GRÁFICO 6-	NÚMERO MÉDIO DE MINIESTACAS DE <i>P. taeda</i> PRODUZIDAS E PORCENTAGEM MÉDIA DE MINIESTACAS ENRAIZADAS NAS SOLUÇÕES NUTRITIVAS.....	52
GRÁFICO 7-	NÚMERO ACUMULADO DE MINIESTACAS DE <i>P. taeda</i> PRODUZIDAS E PORCENTAGEM MÉDIA DE MINIESTACAS ENRAIZADAS POR COLETA.....	54
GRÁFICO 8-	COMPARAÇÃO ENTRE AS SOLUÇÕES NUTRITIVAS 1 E 5, EM RELAÇÃO À CONCENTRAÇÃO ESPERADA PARA OS DE MACROELEMENTOS E A CONCENTRAÇÃO NA ANÁLISE DA SOLUÇÃO NUTRITIVA.....	57
GRÁFICO 9-	COMPARAÇÃO ENTRE AS SOLUÇÕES NUTRITIVAS 1 E 5, EM RELAÇÃO À CONCENTRAÇÃO ESPERADA PARA OS DE MICROELEMENTOS E A CONCENTRAÇÃO NA ANÁLISE DA SOLUÇÃO NUTRITIVA.....	58
GRÁFICO 10-	COMPARAÇÃO ENTRE AS SOLUÇÕES NUTRITIVAS 3 E 7, EM RELAÇÃO À CONCENTRAÇÃO ESPERADA PARA OS DE MACROELEMENTOS E A CONCENTRAÇÃO NA ANÁLISE DA SOLUÇÃO NUTRITIVA.....	59
GRÁFICO 11-	COMPARAÇÃO ENTRE AS SOLUÇÕES NUTRITIVAS 3 E 7, EM RELAÇÃO À CONCENTRAÇÃO ESPERADA PARA OS DE MICROELEMENTOS E A CONCENTRAÇÃO NA ANÁLISE DA SOLUÇÃO NUTRITIVA.....	59
GRÁFICO 12-	CONCENTRAÇÃO DE MACROELEMENTOS NO TECIDO FOLIAR DE MINICEPAS DE <i>P. taeda</i> , APÓS 180 DIAS EM CULTIVO NAS SOLUÇÕES NUTRITIVAS 1 E 5.....	61
GRÁFICO 13-	CONCENTRAÇÃO DE MACROELEMENTOS NO TECIDO FOLIAR DE MINICEPAS DE <i>P. taeda</i> , APÓS 180 DIAS EM CULTIVO NAS SOLUÇÕES NUTRITIVAS 3 E 7.....	62
GRÁFICO 14-	CONCENTRAÇÃO DE MICROELEMENTOS NO TECIDO FOLIAR DE MINICEPAS DE <i>P. taeda</i> , APÓS 180 DIAS EM CULTIVO NAS SOLUÇÕES NUTRITIVAS 1 E 5.....	64
GRÁFICO 15-	CONCENTRAÇÃO DE MICROELEMENTOS NO TECIDO FOLIAR DE MINICEPAS DE <i>P. taeda</i> , APÓS 180 DIAS EM CULTIVO NAS SOLUÇÕES NUTRITIVAS 3 E 7.....	65

RESUMO

A propagação vegetativa tem se mostrado uma alternativa a ser considerada na busca por ganho na produtividade em plantios de pinus. A clonagem de genótipos superiores utilizando material juvenil proveniente de polinização controlada, para o estabelecimento de plantios clonais, foi investigada. O objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito da solução nutritiva, do genótipo e do substrato no enraizamento de miniestacas de *P. taeda* para estabelecimento de um minijardim clonal de material genético selecionado. O delineamento experimental foi de blocos casualizados em esquema fatorial, com oito soluções fertilizantes com duas repetições cada, avaliadas em nove diferentes coletas. Para a determinação de substrato foram avaliados Plantmax® e Vermiculita® e a interação destes substratos com dez diferentes famílias, com quatro repetições cada. Os resultados obtidos permitiram verificar que as brotações juvenis apresentaram alta capacidade de enraizar (84,55%). A média de enraizamento de miniestacas no substrato Plantmax® foi superior a Vermiculita® sendo de 92,7% e 64,3% respectivamente. Não se observou diferença na porcentagem de enraizamento nas dez famílias de polinização aberta utilizadas no experimento. A porcentagem de enraizamento de miniestacas e o número de brotos produzidos diferiram em função da solução nutritiva. A solução 5 (contendo (mg L⁻¹) 92 de N; 36 de P; 69 de K; 81 de Ca; 21 de Mg; 34 de S; 4,2 de Fe; 0,3 de Mn; 0,2 de Zn e 0,4 de B) foi o melhor tratamento para o número médio de miniestacas produzidas, sugerindo que a máxima produtividade em brotações pode ser obtida utilizando esta solução nutritiva. A solução 7 (contendo (mg L⁻¹) 91 de N; 13 de P; 132 de K; 32 de Ca; 16 de Mg; 16 de S; 1,1 de Fe; 1,9 de Mn; 0,5 de Zn; 0,1 de Cu e 0,3 de B) apresentou o melhor enraizamento (37,3%) de miniestacas. A quarta coleta foi a que resultou em maior taxa de brotações. Os resultados obtidos sugerem que o minijardim deve ser fertilizado com a solução nutritiva 7 e as miniestacas sejam enraizadas em substrato Plantmax®.

Palavras-chave: propagação vegetativa, clonagem, minicepas, solução nutritiva.

ABSTRACT

The vegetative propagation is an alternative to be considered in the search of gain in productivity in pinus plantations. However the mass cloning of superior genotypes using young material deriving from controlled pollination for the establishment of clone plantations depends on the variability of large quantity of cuttings. The objective of this study was to establish a minigarden to the cloning of genetic material selected from *P. taeda*. By using nutritive solutions in the hydroponics system of temporary sub irrigation, it was evaluated the production and the rooting of minicuttings generated from ministumps kept in greenhouses. It was also evaluated, the minicuttings rooting potential deriving from apical coppicing of young seedlings of the *P. taeda* family and the influence of the genotype (family) in the rooting, besides the most favorable substrate to the rooting of minicuttings of *P. taeda*, and the characterization of the environment parameters that could be influencing the process. The experimental outline was of randomized blocks in factorial scheme, with eight fertilizing solutions with two repetition of each, evaluated in nine different collections. For the determination of the substrate, Plantmax[®] and Vermiculita[®] were evaluated and the interaction of these substrates with the different families, with four repetitions of each. The results obtained allowed to verify that the young coppicing presented high capacity of rooting (an average of 84.55%). The average of coppicing in the Plantmax[®] substrate was superior to Vermiculita[®] being of 92.7% and 64.3% respectively. It was not observed a statistically significant difference in the percentage of rooting in the ten families of open pollination used in the experiment. The percentage of mini-cuttings rooting and the number of sprouts produced differed according to the nutritive solution used. Solution 5 ((mg L⁻¹) 92 de N; 36 de P; 69 de K; 81 de Ca; 21 de Mg; 34 de S; 4,2 de Fe; 0,3 de Mn; 0,2 de Zn e 0,4 de B) was the best treatment to the average of coppicing produced, suggesting that the maximum productivity coppicing can be obtained using this nutritive solution. Solution 7 ((mg L⁻¹) 91 de N; 13 de P; 132 de K; 32 de Ca; 16 de Mg; 16 de S; 1,1 de Fe; 1,9 de Mn; 0,5 de Zn; 0,1 de Cu e 0,3 de B) presented the best mini-cuttings rooting (37.3%) and solution 3 was the least efficient (19.6%). The fourth collection was the one that resulted in a bigger coppicing rate. The results obtained suggest that the mini-garden will have to be fertilized with the nutritive solution 7, and the minicuttings are rooted in Plantmax[®] substrate.

Key words: vegetative propagation, cloning, ministumps, nutritive solution.

1 INTRODUÇÃO

Pinus taeda L. é a espécie florestal mais plantada na região sul do Brasil, desta existem no Paraná 609.683 ha reflorestados e 350.823 ha em Santa Catarina (REMADE, 2005). O plantio anual chega a marca de 100 milhões de mudas.

O consumo de madeira roliça do gênero *Pinus* proveniente de plantações florestais para uso industrial no Brasil é de 33,2 milhões de m³ por ano. Os estados do Paraná e Santa Catarina consomem 57% deste total (NETO, 2002). Deste modo, devido a sua ampla utilização como matéria prima, *P. taeda* tem sido uma das espécies florestais exóticas mais expressivas economicamente na região sul do Brasil.

Neste contexto, a visão de plantação florestal como unidade de produção é o ponto inicial para a gestão da indústria florestal na busca da competência, especialmente na maximização da rentabilidade pelo manejo adequado, dirigido à produção de indivíduos com alta produtividade, que produzirão produtos de alto valor agregado. Portanto, a plantação florestal tornou-se uma unidade de negócio independente dentro do organograma estratégico das indústrias florestais, onde os produtos são definidos pelas expectativas de mercado combinadas com planos de ordenamento florestal a serem aplicados a médio e longo prazo.

A Rigesa é uma das empresas florestais pioneiras no plantio de *P. taeda* para produção de celulose. Objetivando atender a demanda crescente do mercado para subprodutos da madeira, esta têm desenvolvido um programa de melhoramento para *P. taeda*, que busca sucessivos ganhos em produtividade, considerando a forma, a uniformidade e a qualidade da celulose e da madeira para fins específicos.

A multiplicação clonal de *Eucalyptus* sp. levou ao desenvolvimento do conceito de florestas clonais, que permitem a manutenção das características da planta-mãe, de modo a obter talhões uniformes, de rápido crescimento e matéria prima homogênea. Neste cenário florestal, toda a tecnologia que facilite ou até mesmo, que possa viabilizar a produção de clones é atrativa. A clonagem tem tido ampla adoção no atual cenário da silvicultura com o desenvolvimento de metodologias de propagação vegetativa que aperfeiçoaram a técnica de estaquia

denominada *miniestaquia* e *microestaquia*, as quais proporcionaram a minimização de algumas dificuldades no processo de produção de mudas de certos clones e espécies, principalmente no que concerne ao enraizamento, à formação das mudas e ao desenvolvimento da futura árvore (XAVIER, 2002).

Assim, a oportunidade de clonagem massal de genótipos superiores, para o processo de estabelecimento de plantios clonais, será o resultado do incremento de um programa de melhoramento florestal. Com os avanços do programa de melhoramento, os atuais plantios comerciais da Rigesa, com produtividade média de $39 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ deverão ser substituídos pelos clonais, elevando a produtividade média para patamares superiores a $42 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

Embora o enraizamento de estacas, via *miniestaquia* seja a técnica de propagação vegetativa mais usada na clonagem, sua utilização não é uma técnica viável e econômica para todas as espécies, pois ainda não existe um perfeito domínio sobre o controle da formação de raízes adventícias nas estacas ou sobre o processo de maturação verificado nas espécies. Apesar da importância do minijardim clonal na silvicultura brasileira, pouco se conhece sobre a utilização desta técnica para pinus, tanto experimental como comercialmente, por ser sua utilização comercial muito recente, justificando assim a escassez de informações na literatura.

A tecnologia de clonagem via enraizamento de *miniestacas* para implantação de reflorestamentos de *P. taeda* vem sendo explorada como um complemento a propagação de mudas. É provável que fatores genéticos influenciem na eficiência de enraizamento, daí a necessidade em estudar as fontes do material genético. O rejuvenescimento de clones torna-se importante em virtude de o processo de maturação ser um fenômeno que geralmente afeta espécies lenhosas de acordo com o seu desenvolvimento ontogenético, em que uma das mais importantes conseqüências do envelhecimento ontogenético para a clonagem é a redução ou até mesmo a perda da capacidade de enraizamento que se verifica em plantas adultas (GOMES, 1987). Com base nestas constatações e considerando-se que o processo de seleção de clones em espécies florestais ocorre basicamente na fase adulta, o enraizamento de propágulos vegetativos provenientes destas plantas é um grande desafio, fator que pode ser minimizado utilizando-se material genético na fase de muda, proveniente de polinização controlada. Entretanto as técnicas de

polinização controlada apresentam alto custo e produção limitada, impossibilitando seu uso em grande escala. Assim técnicas de propagação vegetativa adquirem relevância com objetivo de disponibilizar material genético selecionado, hoje escasso e caro (NIELLA; ROCHA, 2004b).

Portanto, até que se tenha material rejuvenescido, a estratégia prevê a clonagem de material genético proveniente de sementes obtidas por polinização controlada entre matrizes selecionadas, considerando que as características desejáveis dos genótipos podem ser aprimoradas e reproduzidas pelo processo competente de melhoramento genético e de propagação. Os avanços na clonagem florestal são resultados dos conhecimentos obtidos sobre a fisiologia e diagnose nutricional da espécie, transpiração foliar, temperatura e umidade relativa, obtidos com a utilização de estruturas protegidas.

ALCANTARA (2005) salienta ainda, não existir um protocolo de miniestaquia eficiente em uso para a produção operacional de clones de *P. taeda*.

Assim, este estudo teve por objetivo geral estabelecer um minijardim para a produção de miniestacas de *P. taeda*, com cepas mantidas em estufa, no sistema hidropônico com fertilização por subirrigação. Os objetivos específicos foram estudar o potencial de enraizamento de miniestacas originadas de brotações apicais de mudas jovens de dez famílias de *P. taeda* usando dois tipos de substrato e a determinação da solução nutritiva mais eficiente para a fertilização do minijardim clonal.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 PROPAGAÇÃO VEGETATIVA DE PINUS

A espécie *P. taeda* é considerada como uma das espécies de pinus de maior importância econômica do mundo e é classificada também como uma das espécies de coníferas mais difícil de propagar vegetativamente (HAMANN, 1995; ROCHA; NIELLA, 2002). Entretanto, experimentos de enraizamento de *P. taeda*, relatam porcentagens de enraizamento de 0 a 60% e taxas de até 89% para *P. elliotii* var. *elliotii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* (*P. elliotii* x *caribaea*) (WISE; CALDWELL, 1992).

Segundo WEBER; STELZER (2000) as empresas do sudeste dos Estados Unidos estavam no estágio inicial do desenvolvimento operacional de programas de enraizamento de estacas de pinus, e vários híbridos de pinus estão sendo propagados por estaquia em países como Nova Zelândia, Austrália, África do Sul e Brasil. Na Argentina a experiência com estaquia em *P. taeda* é divulgada pela Florestal Bosques del Plata, que anuncia a produção de um milhão de mudas provenientes de propagação vegetativa. As cepas são originadas de sementes das melhores famílias de *P. taeda* obtidas através de cruzamentos controlados e conduzidas em vasos, de onde são colhidas as estacas (PEZZUTTI, 2005). No Brasil, as primeiras tentativas de transferência da tecnologia de produção de mudas de eucalipto (microestaquia e hidrojardim clonal) para a clonagem de famílias de *P. caribaea* var. *hondurensis* e *P. taeda* foram realizadas e divulgadas pela International Paper (CAMPINHOS et al., 2000). Também com interesse em desenvolver um sistema para propagação vegetativa para *P. caribaea* var. *hondurensis* a empresa E. Furlan Consultoria montou um minijardim em substrato orgânico e fertilização com solução nutritiva, e neste as taxas de enraizamento variaram entre as famílias propagadas, com os melhores resultados superando 90% (FURLAN, 2002).

2.2 ESTAQUIA E MINIESTAQUIA

A miniestaquia é o método de propagação vegetativa mais utilizado na silvicultura clonal intensiva. Este método, assim como a estaquia, visa à formação de plantios clonais de alta produtividade e uniformidade, a melhoria das qualidades da madeira e de seus produtos, a multiplicação de indivíduos resistentes a pragas e doenças e adaptados a sítios específicos, com a transferência de geração para geração dos componentes genéticos aditivos e não-aditivos, resultando em maiores ganhos dentro de uma mesma geração de seleção (CHAPERON, 1987; ELDRIDGE et al., 1994; ASSIS, 1996).

A miniestaquia foi inicialmente desenvolvida para propagação do eucalipto, porém esta técnica pode ser empregada para outras espécies lenhosas de interesse florestal (ASSIS, 2001). As plantas são denominadas minicepas ou minitoças e seu conjunto denomina-se minijardim clonal (XAVIER; WENDLING, 1998; ALFENAS et al., 2004). Na miniestaquia, os propágulos vegetativos, denominados miniestacas, são obtidos pela coleta de ápices caulinares de uma estaca enraizada pelo método tradicional de estaquia ou de mudas seminais. A estaca podada emite novas brotações que, em intervalos variáveis, em função da época do ano, do clone/espécie, das condições nutricionais, entre outras, são coletadas e estaqueadas em casa de vegetação, para enraizamento. Desta forma, a parte basal da brotação da estaca constitui uma minicepa, que fornecerá as brotações (miniestacas) para enraizamento e formação das futuras mudas.

Para ASSIS (1997) a miniestaquia apresenta uma série de vantagens em relação ao enraizamento tradicional de estacas, como os benefícios operacionais (envolvimento de mão-de-obra na preparação de estacas e aplicação de hormônios de enraizamento), maior grau de juvenilidade das miniestacas (aumentando o grau de iniciação e crescimento radicular, dando origem a mudas de melhor qualidade), além da diminuição de gastos realizados durante a implantação, tratos culturais, irrigação, manejo e fertilização.

Dentre as principais desvantagens ou limitações da propagação vegetativa por estaquia de espécies florestais podem-se citar o risco excessivo de estreitamento da base genética dos plantios clonais, a não-ocorrência de ganhos genéticos adicionais a partir da primeira geração de seleção, a dificuldade de

obtenção de enraizamento em algumas espécies ou clones e a dificuldade de ocorrência de enraizamento em plantas não-juvenis (XAVIER, 2002). Sobre a técnica da miniestaquia, XAVIER (2002) listou as desvantagens em relação à estaquia convencional: as miniestacas são mais sensíveis às condições ambientais, exigem rapidez na produção necessitando um cronograma de produção bem elaborado, mão-de-obra qualificada, exigem maior controle principalmente quanto aos aspectos nutricionais e hídricos das minicepas, em virtude da maior sensibilidade dessas.

Atualmente, a produção de mudas clonais de *Pinus* utilizando a técnica da miniestaquia tem sido usada por algumas empresas florestais do Brasil. O sistema é o mesmo do eucalipto, onde se utiliza o ápice caulinar, denominado de miniestaca, retirado da minicepa ou matriz. Essas minicepas podem ser cultivadas em tubetes contendo substratos orgânicos, a principal diferença do minijardim clonal de *Pinus* em relação ao eucalipto, é que o substrato orgânico tem apresentado uma superioridade em relação a substratos inertes como a areia lavada (HIGASHI; SILVEIRA, 2004).

2.3 SISTEMA HIDROPÔNICO

A hidroponia, termo derivado de duas palavras de origem grega “hydro”, que significa água e “ponos”, que significa trabalho, foi proposto inicialmente por Willian F. Gericke, nos EUA, por volta de 1930, quando utilizou esta técnica de cultivo em escala comercial (BLISKA; HONÓRIO, 1996). Esta se desenvolveu rapidamente como meio de produção vegetal (FURLANI, 1995; _____, 1998), sendo utilizada na área florestal para estabelecimento de jardim miniclinal (ASSIS, 2001; XAVIER, 2002). De todos os métodos de cultivo sem solo, o cultivo em água, por definição, é o autêntico cultivo hidropônico.

Existem várias maneiras de se cultivar plantas em sistemas hidropônicos (IKEDA; OSAWA, 1980; RESH, 1992), porém os mais utilizados são “nutrient film technique” (NFT) ou técnica do fluxo laminar de nutrientes, “deep film technique” (DFT) ou cultivo na água, e técnicas de cultivo com substrato. No caso do DFT, a solução nutritiva forma uma lâmina profunda (cinco a 20 cm) onde as raízes ficam

submersas. Não existem canais e sim uma mesa plana onde circula a solução, através de um sistema de entrada e drenagem característicos (FURLANI, 1998). Pode-se misturar neste sistema, vasos, como os tubetes, que são preenchidos com materiais diversos como areia, vermiculita, perlita, lã de rocha, espuma fenólica, espuma de poliuretano, fibra de coco ou misturas destes, além de outros compostos como palha de arroz carbonizada e turfa.

O método de cultivo em solução hidropônica ou “soilless culture” permite a observação mais apurada dos efeitos fisiológicos, nutricionais e anatômicos de plantas mantidas neste sistema. SOUZA (2001) trabalhando com soja nos sistemas com solo e em solução hidropônica, comprovou que os experimentos em hidroponia e em solo são igualmente eficientes no caso de um projeto de seleção de soja tolerante ao alumínio e evidenciou que o sistema hidropônico permitiu melhor controle das variáveis não experimentais, o que aumentou a precisão dos testes. Além da utilização para seleção de material ou para o estudo individualizado de nutrientes e suas interações, os sistemas hidropônicos são mais produtivos para algumas espécies. MAIA (1998) ao avaliar um sistema automático de fornecimento de solução nutritiva para cultivo hidropônico de plantas em vasos, comprovou que esse sistema, em relação ao convencional, foi três vezes mais produtivo para o cultivo de hortelã (*Mentha crispa*).

FURLAN (2002) conduziu com sucesso um minijardim de matrizes de *P. caribaea* var. *hondurensis* em sistema hidropônico, montado em canaletas de fibrocimento, utilizando como material base para propagação, mudas de aproximadamente 30 famílias de irmãos germanos resultantes de cruzamentos realizados através de polinizações controladas com os melhores resultados de enraizamento superando 90%.

Em se tratando de minijardins estabelecidos em sistemas hidropônicos, os termos hidro jardim clonal ou simplesmente hidro jardim também têm sido usados em alguns viveiros (CAMPININHOS et al., 2000). WENDLING et al. (2000b) descreveram que a tecnologia de clonagem de mudas florestais criou um sistema conhecido como jardim miniclinal, em que as minicepas podem ser conduzidas diretamente em tubetes, em sistema hidropônico.

HIGASHI; SILVEIRA (2004) descrevem que a forma da minicepa e produtividade de miniestacas diferem de sistemas de minijardim clonal em tubetes e de canaletões. A taxa de enraizamento não difere entre as miniestacas produzidas nos dois sistemas, porém a produtividade por minitouça e o período de produção são bastante distintos, sendo que a aplicação da solução nutritiva, quando se utiliza recipiente menor, como tubetes ou vasos deve ser por inundação (“ebb flow”). O sistema hidropônico de mudas em tubete imerso em solução nutritiva, para coleta de miniestacas, é utilizado em escala comercial na International Paper do Brasil para produção de mudas de eucalipto (SILVA, 2001) e *P. taeda* (International Paper, 2005).

Os estudos de minijardim clonal de *Pinus* são mais recentes quando comparados aos de eucalipto. Com isso, a quantidade de informações é menor (HIGASHI; SILVEIRA, 2004).

2.4 FATORES QUE AFETAM O ENRAIZAMENTO DAS ESTACAS

As raízes adventícias que se desenvolvem nas estacas podem ser originadas de praticamente qualquer tipo de tecido, dependendo da espécie, sendo que algumas já possuem os primórdios radiculares antes do corte; em espécies de enraizamento difícil, geralmente todas as raízes se originam do tecido cicatricial que é formado após o corte, porém vários fatores internos e ambientais influenciam no sucesso do enraizamento (KRAMER; KOZLOWSKI, 1972).

A formação de raízes em estacas é um processo anatômico e fisiológico complexo, associado à desdiferenciação e ao redirecionamento do desenvolvimento de células vegetais totipotentes para a formação de meristemas que darão origem a raízes adventícias (ALFENAS et al., 2004). Embora alguns aspectos do seu mecanismo de ação não estejam ainda completamente elucidados, a influência da espécie, do genótipo, presença de indutores e inibidores de enraizamento, estado nutricional, estágio fisiológico, substâncias de reserva, temperatura, umidade, sazonalidade, umidade relativa do ar, quantidade de luz e evapotranspiração, têm sido amplamente reconhecidas como interferentes no processo (HANSEN, 1987; XAVIER et al., 2001).

A propagação de plantas por meio de estaquia depende de diversos fatores que influenciam no desenvolvimento e na diferenciação das raízes, tais como influência do tipo de estaca, juvenilidade dos brotos, presença de gemas e/ou folhas, efeito do período de coleta das estacas, efeito do período de dormência e ambiente de enraizamento (KRAMER; KOZLOWSKI, 1972, HARTMANN; KESTER, 1983; HIGASHI; SILVEIRA; GONÇALVES, 2000). A umidade, temperatura (tanto no substrato quanto na atmosfera) e luminosidade fornecidas às estacas durante o período de enraizamento também são de grande importância para as estacas (HARTMANN; KESTER, 1975; VALLE; CALDEIRA, 1978), além de outros fatores como a composição química e física do substrato e alguns estresses ambientais, os quais também podem influenciar no enraizamento das estacas (HIGASHI; SILVEIRA; GONÇALVES, 2000).

Entretanto apesar da evolução de técnicas para maximizar o enraizamento de estacas em espécies florestais, o processo biológico da formação de raízes é ainda pouco conhecido.

2.4.1 Fatores ambientais

A formação de raízes em segmentos do caule e a produção de biomassa estão relacionadas com fatores inerentes às plantas utilizadas como fontes de propágulos e ao ambiente onde estão crescendo.

2.4.1.1 Luz

A luz influencia qualquer tipo de crescimento nas plantas, pois é fonte de energia na realização da fotossíntese. Em estacas com folhas, os produtos da fotossíntese são essenciais para o enraizamento. A intensidade e duração da luz devem ser suficientes para que ocorra acúmulo de carboidratos, os quais irão favorecer o enraizamento (HARTMANN; KESTER, 1975; VALLE, 1978).

Cada espécie tem exigências próprias para seu desenvolvimento e a intensidade de luz que chega ao indivíduo é especialmente importante para seu

crescimento e desenvolvimento (POGGIANI; BRUNI; BARBOSA, 1990; ENGEL; POGGIANI, 1991). A luminosidade também exerce influência sobre todos os estágios de crescimento dos vegetais, existindo um ponto ótimo para cada fase (DRUMOND; LIMA, 1993).

A irradiância, o fotoperíodo e a qualidade da luz, cujas necessidades são variáveis conforme a espécie, devem ser adequados para a manutenção de uma taxa fotossintética que garanta suficiente suprimento de carboidratos, para a sobrevivência das estacas e a iniciação radicular sem comprometer o vigor vegetativo das estacas (HARTMANN; KESTER, 1983; XAVIER, 2002). Pode-se empregar maior iluminação a fim de que a fotossíntese não seja reduzida (HARTMANN; KESTER, 1975). Conforme ALFENAS et al. (2004) o fotoperíodo e a temperatura influenciam a rizogênese.

Em virtude da grande influência que exerce no enraizamento, devemos considerar as condições de luminosidade nos locais onde são produzidas as estacas, sendo que as respostas mais positivas estão freqüentemente associadas à redução (estiolamento) (ASSIS; BAUER; ROSA, 1990). Nas condições brasileiras, os estudos mostram que a diminuição nos níveis da luz natural induz maior enraizamento de estacas (BORGES, 1978; ALFENAS et al., 2004). As estacas de algumas plantas enraízam mesmo na ausência de luz, porém, como regra geral, as estacas com folhas necessitam de luz para a assimilação do carbono e para aumentar as possibilidades de enraizamento. Entretanto, deve-se evitar que as estacas sejam expostas à incidência direta dos raios solares, a fim de evitar a queima dos tecidos mais tenros (IKEMORI, 1975; VALLE, 1978).

NIELLA et al. (2003) constataram que a produção de brotos em cepas de *P. taeda* é afetada significativamente pela intensidade luminosa, de modo que a pleno sol o número de brotos produzidos foi maior que em sombreamento à 30%.

2.4.1.2 Temperatura

A temperatura tem importante função regulatória no metabolismo das plantas e afeta o enraizamento das estacas (XAVIER, 2002). Conduzida de maneira inadequada oferece grandes limitações ao enraizamento (VALLE, 1978).

Temperaturas excessivamente altas, durante a fase de enraizamento, estimulam o desenvolvimento de gemas laterais antes do aparecimento de raízes, fato esse indesejável para a propagação. Ocorre também o aumento da transpiração e perda de água pelas folhas, provocando necrose (HARTMANN; KESTER, 1983; FACHINELLO, 1986).

A divisão celular é favorecida com o aumento da temperatura e conseqüentemente auxilia na formação de raízes. Porém, deve-se tomar especial cuidado com estacas herbáceas e semilenhosas, pois com o aumento da temperatura, tem-se uma elevação na taxa transpiratória, induzindo assim a dessecação do tecido (FACHINELLO, 1986; HARTMANN et al., 1997), provocando um esgotamento das reservas nutricionais. As baixas temperaturas reduzem o processo de fotossíntese (CARRERA GARCIA, 1977) e diminuem o metabolismo das estacas, levando a um maior tempo para o enraizamento ou, até mesmo, não proporcionando condições adequadas para que ocorram indução, desenvolvimento e crescimento radicular (XAVIER, 2002).

A temperatura ótima para favorecer o enraizamento das estacas é bastante variável, sendo dependente das peculiaridades das plantas, do período de propagação, do grau de lignificação das estacas e das condições climáticas do local.

HARTMANN; KESTER; DAVIES JUNIOR (1990) citam as temperaturas diurnas entre 21 °C à 26 °C e temperaturas noturnas entre 15 °C e 21 °C, como ideais para auxiliar o processo de enraizamento na maioria das espécies. Para condições tropicais e subtropicais, a temperatura ambiente deve situar-se na faixa de 25 °C à 30 °C, enquanto que a do substrato deve ficar entre 21 °C e 26 °C (IKEMORI, 1975; BERTOLOTTI; GONÇALVES, 1980).

VALLE; CALDEIRA (1978) relatam que pesquisadores aconselham o uso de aquecimento basal no enraizamento de estacas, quando a temperatura do substrato atinge valores inferiores à 21 °C. Esses autores observaram que o aquecimento basal propiciou condições favoráveis ao desenvolvimento de gemas adventícias.

Mudanças de temperatura no ambiente de enraizamento podem ocasionar diminuição da porcentagem de enraizamento, conforme observado por FOSTER (1990) em estacas caulinares de *P. taeda*.

2.4.1.3 Umidade

Alguns processos fisiológicos são fortemente influenciados pela umidade relativa do ar, como a fotossíntese, que tende a diminuir com a diminuição desse parâmetro, em decorrência do fechamento dos estômatos e do aumento da resistência estomática à difusão de CO₂ (HORIE, 1979). Na transpiração, o aumento no déficit de saturação causa aumento na resistência foliar à difusão do vapor d'água, fazendo com que o aumento da transpiração seja inferior ao aumento no déficit de pressão de vapor (WHITEHEAD; OKALI; FASEHUN, 1981).

A umidade é um dos fatores mais relevantes para o processo de enraizamento de estacas, pois com excesso ou insuficiência de umidade ocorrerá a morte das estacas. A presença de folhas nas estacas é um forte estímulo para o início do enraizamento. Entretanto, deve-se manter a umidade do ar elevada a fim de reduzir a transpiração pelas folhas (que devem ser aspergidas com freqüência). Quando ocorre murchamento pronunciado das estacas, devido à redução de umidade, danos irreversíveis podem ocorrer e mesmo sob condições normais de umidade, as estacas não voltam a enraizar (HARTMANN; KESTER, 1975).

A perda de água é uma das principais causas de morte de estacas antes da formação de raízes, pois para que haja divisão celular, é necessário que as células do tecido da estaca estejam túrgidas. Portanto, o potencial de perda de água em uma estaca é muito grande, seja através das folhas ou das brotações em desenvolvimento, considerando que as raízes ainda não estão formadas. Esse quadro se agrava quando se trabalha com espécies que exigem longo tempo para formar raízes e quando são utilizadas estacas com folhas e/ou de consistência herbácea (NORBERTO, 1999).

A perda de água de uma cultura não só está ligada ao estágio de crescimento e desenvolvimento, mas também a sua condição de sanidade, representada pela infestação de pragas e doenças. O conhecimento da evapotranspiração real é de grande valor, pois com ela é possível estabelecer a relação com o potencial de água na planta (índice de rendimento vegetativo), quanto mais próximo da unidade for este índice, tanto mais próximo das condições ideais de crescimento e desenvolvimento se encontra a planta (OMETTO, 1981).

Para se manter a umidade relativa alta, são realizadas aspersões de água, em forma de névoa fina, repetidas vezes ao dia, contribuindo também para reduzir a temperatura do ar e das folhas, resultando em baixa transpiração (HARTMANN; KESTER, 1983). Um dos problemas encontrados na maior parte dos sistemas de controle de irrigação é justamente a flutuação da umidade relativa dentro dos módulos, pois a irrigação é normalmente programada para intervalos fixos, não acompanhando a evapotranspiração das folhas das estacas, desconsiderando as épocas sazonais (BERTOLOTTI; GONÇALVES, 1980).

A umidade do ar ao redor das estacas tem influência no estado hídrico. A maioria dos sistemas de propagação tenta manter um alto grau de saturação na atmosfera através do uso de coberturas de polietileno ou através do fornecimento de água em minúsculas gotas, ou ainda, através da combinação de ambos os métodos (MALAVASI, 1994). O uso de nebulização exige um substrato de livre drenagem de forma a evitar o encharcamento do meio o que levaria ao apodrecimento das estacas (VALLE; CALDEIRA, 1978).

IKEMORI (1975) estudando o enraizamento de estacas de eucalipto em condição de casa de vegetação relata que na época mais fria do ano (abril a setembro) o uso de nebulização no sistema que consistia de um minuto de nebulização e quatro minutos de intervalo entre nebulizações, proporcionou resultados bastante satisfatórios. As estacas permaneceram verdes, não perderam folhas e o tempo de enraizamento foi diminuído.

2.4.1.4 Substrato

As propriedades do substrato podem afetar o crescimento e nutrição das mudas, produzir danos fitotóxicos por deficiência de nutrientes, danos mecânicos principalmente nas raízes, maior susceptibilidade a doenças e até a morte das plantas (VALENZUELA et al. 2002).

O uso de resíduos orgânicos florestais como componente de substratos, para a produção de mudas é prática comum, sendo de modo geral, a casca de *Pinus* o resíduo mais utilizado (MAIA, 1999).

O substrato usado em estaquia em função do sistema de irrigação a ser empregado, deve ser constituído de material que propicie uma drenagem satisfatória de forma a manter em equilíbrio as percentagens entre ar e água, evitando o apodrecimento da base das estacas (IKEMORI, 1975; VALLE; CALDEIRA, 1978). Um meio com boa aeração facilita o enraizamento. Cada espécie apresenta melhor enraizamento em um tipo de substrato.

A vermiculita não se mostrou um substrato adequado para enraizamento de estacas de *P. taeda*, obteve melhor resultado quando misturada a outros substratos (CANCELA; VIANA; HIGA, 2003). ROCHA; NIELLA (2002) e NIELLA et al. (2003) utilizaram com sucesso casca de pinus compostada como substrato para estacas de *P. taeda*.

2.5 FATORES LIGADOS A PLANTA

O estado fisiológico da planta assume importância fundamental no processo de enraizamento (VALLE; CALDEIRA, 1978). A variação na capacidade de enraizamento é atribuída às fases de crescimento da planta e ao estado fisiológico das estacas. As variações climáticas sazonais afetam o estado morfofisiológico da planta-mãe, que sofre alterações nos níveis hormonais endógenos e nutricionais, e no balanço entre promotores e inibidores de enraizamento, influenciando assim sua resposta ao enraizamento.

É fato conhecido há muito tempo que a capacidade de enraizar em muitas espécies diminui à medida que a planta lenhosa passa de um estado juvenil para um estado adulto.

2.5.1 Influência da espécie

Segundo VALLE (1978) a capacidade de enraizamento varia entre espécies e entre árvores. Sendo assim, estacas de certas espécies enraízam mais facilmente do que as de outras. Também existem consideráveis discrepâncias quanto à capacidade de enraizamento entre árvores da mesma espécie (KRAMER; KOZLOWSKI, 1972).

Para XAVIER (2002) a habilidade de enraizamento das espécies florestais pode ser assim classificada: (1) espécies de fácil propagação, (2) espécies com respostas crescentes ao enraizamento quando são proporcionadas condições adequadas de controle ambiental e manejo da fonte de propágulo vegetativo (estacas) e (3) aquelas espécies com resposta pequena ou nenhuma aos estímulos para enraizamento.

VEGA; MEIER; BOVO (2002) testaram macropropagação em *Prosopis* sp. com 30 anos de idade, utilizando dez genótipos com resposta de 12,5% em apenas um genótipo. Segundo estes autores o resultado confirma que o genótipo é o principal fator que influencia o enraizamento, podendo o complexo gênico estar associado à ação de genes para características específicas.

Destacando a importância do genótipo, WENDLING et al. (2000b) encontraram grandes variações entre clones de *Eucalyptus* spp. no seu estudo de propagação clonal por miniestaquia. COOPER; GRAÇA (1987) encontraram alta variabilidade na capacidade de enraizamento de estacas de *E. dunnii*, não somente entre procedências, mas também entre indivíduos de uma mesma procedência. ROSSE et al. (1996) encontraram diferenças significativas entre clones de eucalipto para o número de estacas produzidas e para a porcentagem de enraizamento, indicando haver diferenças genéticas entre eles.

Assim, para a maximização do potencial de enraizamento os melhoristas sugerem a seleção de matrizes com alta capacidade de enraizamento. A utilização de sementes de famílias como fonte de propágulos, resulta numa maior desuniformidade do material, o que é aceito pela dificuldade de obtenção de rejuvenescimento de material adulto em *Pinus* sp. (WEBER; STELZER, 2000).

MALAVASI (1994) ressalta a importância significativa do genótipo na habilidade das estacas de coníferas em formar raízes, visto a existência de

variações entre genótipos. HAMANN (1995) observou diferença significativa no enraizamento das estacas de *P. taeda* para as diferentes famílias testadas.

2.5.2 Idade da cepa, manejo de poda e brotações – aspectos fisiológicos

Os efeitos da maturação em coníferas podem ser resumidos como segue: (1) a maturação pode ser a principal barreira para o sucesso da propagação. Estacas que derivaram de cepas mais velhas, dificilmente enraízam e o sistema radicular pode ser menos fibroso quando comparado a estacas de cepas mais juvenis ou brotações de mudas; (2) estacas de cepas maduras normalmente apresentam um certo grau de características de crescimento adulto. Estas estacas enraizadas mostram menor vigor ou crescem de modo diferente que estacas juvenis, em forma de vela (HAMANN, 1995).

Nos processos de propagação clonal em espécies florestais, as técnicas de miniestaquia e microestaquia, são exemplos da aplicação dos fundamentos do gradiente de maturação e do rejuvenescimento, onde, a utilização de material juvenil é de fundamental importância para o sucesso do enraizamento (WENDLING; XAVIER, 2001).

De acordo com HANDLEY et al. (1995) manter a juvenilidade das cepas e conhecer a resposta do genótipo a técnica de propagação são fatores que desafiam a produção de estacas enraizadas de *P. taeda*. A idade das mudas apresenta influência na promoção do sistema radicular de miniestacas de *P. taeda*, de forma que o aumento no índice de enraizamento ocorre com a diminuição da idade das mudas, tornando a espécie de difícil enraizamento quando não se utiliza material juvenil como fonte de propágulos (ALCANTARA, 2005). ALFENAS et al. (2004) sugerem que as minicepas sejam formadas a partir de mudas de 60 a 70 dias, pois neste caso é possível realizar a poda na altura desejada sem necessidade de rebaixamento posterior e NIELLA; ROCHA (2004a) sugerem a coleta de estacas de plantas mães juvenis (5 a 12 meses) podadas.

O rejuvenescimento de clones torna-se importante pelo fato do processo de maturação ser um fenômeno que geralmente afeta espécies lenhosas, de acordo com seu desenvolvimento ontogenético, em que uma das mais importantes

conseqüências para a clonagem é a redução ou até mesmo a perda da capacidade de enraizamento que se verifica em plantas adultas (XAVIER et al., 2001). Entretanto, HAMANN (1995), sugere que em cepas de *P. taeda* mantidas em condições restritas de crescimento (envasadas) e submetidas a podas drásticas, a maturação fisiológica da cepa não se expresse.

A propagação vegetativa de árvores adultas requer material fisiologicamente juvenil (gemas epicórmicas basais) ou com rejuvenescimento da habilidade de formar raízes em material adulto. As árvores adultas necessitam de técnicas especiais para reverter a juvenilidade e resgatar as condições favoráveis para enraizamento e crescimento. O rejuvenescimento ocorre naturalmente durante a reprodução sexuada e na apomixia. A realização do corte raso de árvores adultas para induzir o crescimento de brotações juvenis e a manutenção da juvenilidade por podas sucessivas visa aumentar a produção de propágulos e manter a juvenilidade dos mesmos (HACKETT, 1987).

Durante a propagação vegetativa o rejuvenescimento também pode ocorrer e tem sido alcançado de diversas maneiras: (1) poda drástica; (2) aplicação de citocininas ou herbicida; (3) propagação seriada via enxertia; (4) propagação seriada via estaquia e (5) micropropagação (HIGASHI; SILVEIRA; GONÇALVES, 2000). De qualquer forma, pode-se dizer que, quanto mais juvenil for o material vegetativo, maior será o sucesso do enraizamento, quer expresso pela rapidez de formação, quer pela capacidade de crescimento da nova planta. Pode-se dizer também que isso se deve ao fato de, na utilização de material vegetativo juvenil, a morfogênese expressar-se mais facilmente nos tecidos (XAVIER; COMÉRIO, 1996).

A emissão de brotos é influenciada pela espécie, região, época de corte e dimensões da planta mãe (KRAMER; KOZLOWSKI, 1972), da seguinte forma: espécie – a capacidade de emissão de brotos é comum nas folhosas e rara nas coníferas e a emissão de brotos em uma mesma espécie é influenciada pelas condições ambientais. Para cada espécie e procedência existe um ponto de ótimo equilíbrio entre as dimensões e acúmulo de substâncias de reserva e a idade das plantas, que devem ser pesquisados para se obter melhor resultado quanto ao vigor da rebrota (BRUNE, 1982).

A manutenção das folhas da miniestaca é fundamental para garantir o enraizamento (ALFENAS et al., 2004), e segundo HARTMANN et al. (1997) os carboidratos resultantes da atividade fotossintética e a auxina produzida nas folhas e gemas apicais contribuem para a rizogênese.

DIAZ-SALA et al. (1996) descreveram que miniestacas de *P. taeda* originadas do hipocótilo de mudas de 50 dias retêm a capacidade de regenerar raízes sob circunstâncias indutivas, mas miniestacas de epicótilo tem redução na competência de enraizamento.

2.5.3 Condições fisiológicas das miniestacas

O estado fisiológico da planta matriz é um conjunto de atributos internos da mesma que vão estar presentes ou não no metabolismo da planta por ocasião da coleta de estacas (NORBERTO, 1999). A formação de raízes nas estacas depende das condições internas da planta-matriz e do meio em que são colocadas. A capacidade que tem uma estaca para formar raízes é devida à ação de substâncias naturais reguladoras do crescimento presentes nas células, nas folhas e gemas. Há vários grupos destas substâncias, dentre eles as auxinas, as citocininas e as giberilinas. Destes, as auxinas são de maior interesse com respeito à formação de raízes nas estacas.

Para enraizamento de *P. taeda*, utilizando estacas lenhosas de um a dois anos de idade, não houve resposta a aplicação de ácido indol butírico (AIB), obtendo enraizamento de 34% (GREENWOOD; WEIR, 1994; FRAMPTON et al., 1999). Estes dados concordam com ALCANTARA (2005) que sugere que para miniestacas de *P. taeda* coletadas em casa de vegetação, auxina exógena não se faz necessário. Entretanto, conforme WENDLING et al. (2000a), a utilização de indutor de enraizamento poderia ser uma alternativa para melhorar o enraizamento de clones importantes que apresentam baixa resposta a este fator.

Testes com miniestacas de *P. caribaea* var. *hondurensis* utilizando AIB indicaram que não existe necessidade de seu uso (FURLAN, 2002; ROCHA; NIELLA, 2002) concordando com resultados já obtidos na Rigesa com *P. taeda*.

Estacas de *P. taeda* maiores (nove cm) sobrevivem melhor que estacas menores (CANCELA; VIANA; HIGA, 2003) e apresentam enraizamento mais rápido e sistema radicular melhor. HIGASHI; SILVEIRA (2004) sugerem utilização de miniestacas de cinco a oito cm de altura para *P. taeda*.

2.5.4 Época de coleta e posição de retirada das miniestacas

As estacas podem ser coletadas em qualquer época do ano, sendo o enraizamento, porém, determinado pelas condições fisiológicas da planta matriz e pelas condições climáticas durante a retirada do material a ser utilizado. Para HARTMANN; KESTER (1975) a época do ano em que são coletadas as estacas exerce, em alguns casos grande influência sobre o enraizamento e pode ser o principal ponto de sucesso desta atividade. Para cada planta específica há necessidade de observação da melhor época para se proceder a estaquia, pois as condições fisiológicas dos tecidos vegetais são influenciadas pela época do ano.

Para HIGASHI; SILVEIRA (2004) a intensidade de coleta deve ser preferencialmente seletiva e diária para eucalipto.

Sob o ponto de vista fisiológico, as estacas devem ser coletadas no período de repouso vegetativo, o qual é variável de acordo com a planta. A coleta neste período é importante, em função do equilíbrio carboidratos/nitrogênio estabelecido nesta ocasião, devido ao efeito que exerce na iniciação e no desenvolvimento das raízes em eucalipto (SILVA, 1998).

Neste contexto ALCANTARA (2005) verificou ser o inverno a época mais adequada para o enraizamento de miniestacas de *P. taeda*, provavelmente em função do período de dormência, e o outono a menos indicada constatado também por FOSTER; STELZER; MCRAE (2000).

VALLE; CALDEIRA (1978) relataram que a época mais favorável ao enraizamento de estacas de eucalipto se inicia na primavera, época em que o material a ser estaqueado encontrará melhores condições nutricionais, portanto estarão mais aptas ao enraizamento.

Um fator que influi na facilidade, proporção e velocidade de enraizamento das estacas é a posição que estas ocupam na planta e o ramo de onde foram

retiradas. Os ramos laterais enraízam mais rapidamente que os apicais, em virtude de contarem com uma maior disponibilidade de carboidratos; fato similar ocorre com a porção basal de ramos em relação à porção terminal (SILVA, 1998).

BERTOLOTI; MORA; GONÇALVES (1981) verificaram em eucalipto, que estacas oriundas de material mais lignificado apresentaram melhores resultados tanto na brotação das gemas, como no enraizamento das estacas. Já as estacas coletadas no ponteiro das mudas secavam alguns dias após serem colocadas para enraizar, talvez por apresentarem poucas reservas em seus órgãos (folhas e caule).

PENCHEL et al. (1995) destacaram como principais resultados de seus estudos com eucalipto, o aumento médio da porcentagem de enraizamento de 11,6% e 7,6%, em material preparado a partir de ramos plagiotrópicos em relação aos ortotrópicos, respectivamente. Tanto a taxa de enraizamento quanto o número de raízes por estaca tende a aumentar em miniestacas obtidas da parte basal ou mediana da brotação para os diversos clones de eucalipto.

2.5.5 Influência do estado nutricional

MALAVASI (1994) cita que dentro de certos limites, o estado nutricional da estaca possui maior influência no crescimento e desenvolvimento radicular do que na iniciação radicular, sugerindo que a influência da nutrição mineral na iniciação radicular é altamente dependente dos níveis iniciais dentro daquela porção da estaca onde as raízes serão formadas.

Apesar da reconhecida significância da relação entre a nutrição mineral e o enraizamento, a importância de vários nutrientes neste processo não é claramente conhecida. Em geral, qualquer nutriente envolvido nos diversos processos metabólicos, associados à diferenciação e formação do meristema radicular, é essencial para a iniciação radicular. O estado nutricional do vegetal pode também atuar em sinergia com vários fatores que induzem o enraizamento e afetam o crescimento e vigor pós-propagação (MALAVASI, 1994).

2.6 NUTRIÇÃO

O gênero *Pinus* de um modo geral, é conhecido como sendo pouco exigente em nutrientes, pois, normalmente, os plantios são realizados em sítios de baixa fertilidade (VOGEL et al., 2005). As espécies de *Pinus* são encontradas crescendo em sítios extremamente pobres, nos quais, apesar da expectativa de produção estar aquém do satisfatório, tem revelado uma capacidade extraordinária de gerenciamento dos poucos recursos nutricionais. O *P. taeda*, por exemplo, é conhecido como sendo uma espécie pioneira nas regiões onde ocorre naturalmente (REISSMANN; WISNIEWSKY, 2000). Esses aspectos, embora positivos sob um determinado ponto de vista, geraram expectativa que se mostrou negativa no sentido do manejo nutricional dessas espécies.

Os trabalhos relacionados com a deficiência nutricional em *Pinus* no Brasil são bastante raros, sobretudo com *Pinus* tropicais. Segundo REISSMANN; WISNIEWSKY (2000), tal fato se deve principalmente à rapidez de crescimento e à ausência de sinais de deficiência, especialmente durante as primeiras rotações, reforçando a expectativa de que o *Pinus*, de modo geral, dispensa grandes cuidados com adubação, ou ainda que esta é totalmente dispensável. Entretanto, FLINN (1985) comenta que em florestas do gênero *Pinus* spp. na Austrália, a fertilização é particularmente importante durante a fase de estabelecimento.

Apesar da grande plasticidade genética da espécie *P. caribaea* Morelet, isto é, sua capacidade de adaptação mesmo em ambientes diferentes daqueles dos centros de origem, certos limites, para as concentrações dos elementos químicos, não podem ser ultrapassados (CHAVES; CORRÊA, 2003). MORTVEDT; KHASAWNEH (1986) atribuíram ao balanço de nutrientes no solo, a responsabilidade por limitações no crescimento das plantas.

Entretanto, o estado nutricional, tanto da planta-matriz doadora de estacas, como da estaca durante o processo de enraizamento, tem se mostrado um fator importante no enraizamento.

A ordem dos nutrientes mais acumulados para o gênero *Pinus*, é a seguinte: $N > K > Ca > Mg > P$ (GONÇALVES, 1995).

2.6.1 Nitrogênio (N)

O nitrogênio é o nutriente mais exigido pelas culturas, uma vez que atua como componente estrutural nas moléculas dos aminoácidos, proteínas, enzimas, pigmentos e produtos secundários (MARSCHNER, 1995; MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997), sendo um dos elementos essenciais para o desenvolvimento e produção das plantas. Não há, entretanto, um consenso a respeito do nível ótimo de adubação nitrogenada para sistemas hidropônicos objetivando-se o máximo crescimento. A redução do crescimento proporcionada pela deficiência de nitrogênio é resultado das funções que o nutriente desempenha na planta. A produtividade das culturas é grandemente determinada pela interação entre o metabolismo do carbono e do nitrogênio. Estes estão estreitamente interligados uma vez que a energia necessária para a assimilação do nitrogênio deriva direta ou indiretamente da fotossíntese. De fato, trabalhos em diversas espécies de plantas demonstraram a acentuada e positiva relação entre o teor de nitrogênio na folha e a capacidade fotossintética (MALAVOLTA, 1980).

2.6.2 Fósforo (P)

O fosfato é necessário para a síntese de trifosfato de adenosina (ATP) e de numerosos outros compostos fosforilados. Sua carência, por conseguinte causa transtornos imediatos e severos no metabolismo e no desenvolvimento (EPSTEIN, 1975). Plantas deficientes em fósforo caracterizam-se por possuir crescimento lento, freqüentemente coloração avermelhada devido a maior formação de antocianinas; folhas com uma coloração mais escura quando comparadas com folhas de plantas com nutrição completa e redução de muitos processos metabólicos, incluindo divisão e expansão celular, respiração e fotossíntese (MARSCHNER, 1995). O papel central que o fosfato desempenha na energética do metabolismo e nas reações biossintéticas sugere que sua deficiência dificilmente seria menos desastrosa do que a do nitrogênio, o que de fato acontece.

2.6.3 Potássio (K)

O potássio nas plantas é altamente móvel no floema. Sua utilização é por isso eficiente no sentido de ser prontamente redistribuído das folhas mais velhas para os órgãos mais novos em crescimento. Como conseqüências disso, os sinais de deficiência aparecem em primeiro lugar nas folhas mais velhas, que ficam com coloração nas bordas que progride em direção ao centro das folhas (EPSTEIN, 1975; MUNIZ et al., 2001).

A diminuição na proporção de ramos e caule na omissão de potássio é dada pela menor migração de fotoassimilados através de vasos condutores, relacionados com o processo de fotofosforilação, pois quando o teor de potássio é grande, ocorre estímulo na produção de ATP (MALAVOLTA; CROCOMO, 1982). Em plantas carentes de potássio, ocorrem danos nas atividades estomáticas, pois esse íon quando em teor adequado reduz a taxa de transpiração, regulando o potencial osmótico do mesófilo celular (MENGEL; KIRKBY, 1982).

A competição entre magnésio e potássio ocorre durante o processo de absorção radicular, uma vez que utilizam os mesmos sítios de absorção. Entretanto, o efeito negativo do desbalanço de nutrientes somente é detectado a partir do incremento na produção de matéria seca, florescimento ou frutificação da planta, através da determinação do acúmulo de nutrientes. Porém a correção do problema, dependendo do estágio de desenvolvimento do material, torna-se difícil ou de custos elevados. Os efeitos interiônicos entre K, Ca e Mg ocorrem na forma de inibição competitiva, normalmente ao nível de membrana celular (EPSTEIN, 1975). Segundo MALAVOLTA (1980) esse processo ocorre quando dois elementos se combinam pelo mesmo sítio ativo do carregador. Um exemplo clássico é dado pelas altas doses de potássio no meio, inibindo a absorção de Ca e Mg, chegando muitas vezes a causar deficiência desses dois nutrientes com queda de produção. MARSCHNER (1995) também relata que cátions como o potássio, podem atravessar a membrana plasmática com maior velocidade, deprimindo a absorção de cátions mais lentos como Ca e Mg. A absorção preferencial do íon K^+ ocorre por ser monovalente e de menor grau de hidratação quando comparado aos divalentes (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 1984).

2.6.4 Magnésio (Mg)

No caso do magnésio, ele é componente da clorofila e ativador de numerosas enzimas que afetam a transferência do fosfato e é um elemento cuja deficiência afeta fortemente o metabolismo. A clorose é um sintoma inicial, seguido da diminuição de fotossíntese. Os caminhos biossintéticos são desarranjados como conseqüência da inibição em transforilações enzimáticas essenciais (EPSTEIN, 1975). O teor de magnésio nos órgãos vegetais é menor quando há deficiência do mesmo (CAMARGOS, 1999). EPSTEIN (1975) evidenciou inibição competitiva do cálcio e do potássio na absorção do magnésio.

Segundo trabalho executado por SGARBI et al. (1999), plantas cultivadas na ausência de K e de Mg não apresentam redução significativa na produção de matéria seca quando comparadas com as do tratamento completo.

2.6.5 Manganês (Mn)

Dentre os micronutrientes avaliados em material vegetal de pinus, o único que pode ser relacionado aos sinais de amarelecimento é o Mn, pois apresenta diferença significativa no seu teor, entre plantas normais e anormais. Apesar de o Mn ser um nutriente muito similar ao Fe, tanto em comportamento químico como em ocorrência geológica, ele apresenta maior mobilidade (CHAVES; CORRÊA, 2003) o que se deve à sua natureza mais eletropositiva e à maior solubilidade de seus compostos. Este fato deve contribuir para que ocorra maior lixiviação do Mn em relação ao Fe.

Segundo CHAVES; CORRÊA (2003) intensa lixiviação do Mn pode ocorrer, ao longo do tempo, se o pH é baixo.

Os resultados analíticos, juntamente com os sinais visuais de deficiência, revelam ser o Mn um dos responsáveis pelo amarelecimento, que pode ocorrer mais tardiamente na floresta de pinus (CHAVES; CORRÊA, 2003), bem como, os sinais de deficiência apresentados pelas plantas, concordam com o estudo de MARTINEZ; HAAG; MORAES (1992), que acompanharam *P. caribaea* (var. *hondurensis*, *bahamensis* e *caribaea*) em solução nutritiva. Nesse estudo, os sinais de deficiência

de Mn e de Zn foram os que demoraram mais tempo para se manifestar. A deficiência é observada por uma coloração verde-clara na posição apical das plantas, acompanhada de murcha e necrose da ponta das acículas (a mancha clorótica caminha do ápice para a base das acículas e depois se torna marrom). Os sinais são semelhantes aos de deficiência de ferro, progredindo do ápice para a base da planta, além de surgirem brotações laterais tortuosas.

2.6.6 Cálcio (Ca)

Outro elemento químico de relevância é o cálcio. Sendo um elemento imóvel no floema, os desarranjos devido à deficiência podem ser muito localizados e a raiz é o órgão afetado mais severamente, ele cessa de crescer, torna-se desorganizado e escuro e às vezes até morre. Antes que isso aconteça, o processo de divisão mitótica da célula é desorganizado podendo haver núcleos poliplóides, células binucleadas, núcleos constrictos e divisões amitóticas (EPSTEIN, 1975).

NADOLNY (1990) afirma a condição do *P. taeda* como espécie calcífuga, com base no seu experimento onde a omissão de cálcio resultou nos melhores tratamentos.

2.6.7 Boro (B)

Quanto ao boro, VALÊNCIA (1964) salientou a necessidade de aplicações de boro no solo para prevenir o aparecimento de sintomas, como a morte de gemas, usando doses de 20 g de Borax[®]/planta/ano. Apesar de ser o nutriente cuja participação no metabolismo vegetal é menos compreendida, este elemento permite que hipóteses sejam aventadas para explicar as mudanças fisiológicas, anatômicas ou morfológicas que ocorrem quando há deficiência no substrato para suprir as necessidades do metabolismo da planta. A redução de altura na carência de B e Ca deve-se ao fato desses nutrientes atuarem no crescimento meristemático das plantas (MARSCHNER, 1995; MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). As plantas de *E. citriodora* deficientes, principalmente em boro, apresentaram morte das gemas apicais, com posterior brotação das gemas axilares, resultando na paralisação do

crescimento em altura. Em relação ao diâmetro, verificou-se redução e o significativo crescimento apenas na omissão de N. Para a produção de folhas, o comportamento dos tratamentos foi semelhante ao obtido para o crescimento em altura, onde a carência de N e B diminuiu drasticamente a biomassa foliar.

A omissão de boro na solução resultou em maiores concentrações de N, P, Ca e S nas folhas, provavelmente devido ao menor crescimento das plantas, provocando menor efeito de diluição dos nutrientes. Verificou-se que as concentrações de Cu, Fe e Zn nas folhas foram mais elevadas nas plantas cultivadas na ausência de boro. O mesmo não ocorreu em relação às concentrações foliares de Mn, uma vez que não se verificaram diferenças significativas entre os tratamentos. Em todos os tratamentos, exceto na omissão de boro, ocorreram baixas concentrações de Cu, podendo estas ser consideradas deficientes de acordo com MALAVOLTA (1987), DELL; MALAJCZUK; GROVE (1995) e SILVEIRA (2000).

Quanto ao nível crítico de boro para pinus, CHAVES; CORRÊA (2003) relataram teores em torno de oito ppm e sugeriram que concentrações acima de três a quatro ppm podem ser suficientes para um desenvolvimento normal. Além disso, segundo CHAVES; CORRÊA (2003) o transporte de boro é dependente da transpiração. Desta forma, as relações hídricas no sistema solo-planta-atmosfera afetam sua distribuição e, portanto, podem variar de um local para outro.

2.6.8 Ferro (Fe)

Em uma revisão acerca do ferro em *Pinus*, CHAVES; CORRÊA (2003) encontraram valores entre dez e 393 ppm de ferro nas acículas, sem registro de problemas de deficiência ou toxidez. Em termos de broto, o ferro é particularmente importante na síntese de clorofila e estabilização de tilacóides. A conversão de energia da fotossíntese é largamente afetada através de cloroses de Fe e pode ser avaliada através de parâmetros de fluorescência (DECHEN et al., 1991). MALAVOLTA (1980), MENGEL; KIRKBY (1982) e INGESTAD (1982) descrevem de maneira similar às deficiências de ferro, sempre com início nas folhas novas, cloroses internervais e pontos avermelhados na folha. A explicação está na falta da

ferredoxina, que atua em processos metabólicos ligados ao NADP+, ou seja, diretamente na taxa fotossintética.

2.6.9 Zinco (Zn)

MENGEL; KIRBY (1982) citam o fato da má nutrição fisiológica com Zn em *Pinus* ser um fenômeno sobre o qual não se tem perfeita compreensão, mas parece estar relacionada à interferência de elementos como P, Fe e Mn.

Os sintomas de deficiência de Zn foram os últimos a aparecer nos estudos de MARTINEZ; HAAG; MORAES (1992) com *P. caribaea* em solução nutritiva.

2.6.10 Cobre (Cu)

O cobre é o micronutriente exigido em menor quantidade pelo *Pinus*, cujo valor crítico pode variar com os níveis de outros nutrientes, particularmente nitrogênio e fósforo. É importante notar que a participação do Cu (concentração) na planta foi: lenho externo (xilema) > acículas > casca, o que concorda com HAAG; MARTINEZ; MORAES (1991); que encontraram para as variedades *hondurensis*, *caribaea* e *bahamensis* teores também mais baixos que os referenciados na literatura como sendo níveis críticos de Cu em *Pinus*.

Todavia, a variedade *hondurensis* apresentou teor de Cu nas acículas quase quatro vezes maior que para a variedade *caribaea*, revelando ser aquela variedade mais eficiente na absorção, o que concorda com os dados de HAAG; MARTINEZ; MORAES (1991); que trabalharam com solução nutritiva.

Valores variando de traços deste elemento até 15 ppm podem ser explicados com as considerações de LASTRA et al. (1988), de que ocorrem acúmulos pontuais de Cu, aprisionado nas paredes das células radiculares, na forma de complexos funcionais com átomos de N, O ou S e em peptídios de metais pesados, as fitoquelatinas. É possível, portanto, que a amostragem destes tecidos não tenha sido adequada para dosar o teor de cobre.

2.7 SOLUÇÕES FERTILIZANTES

A nutrição mineral utilizada em jardim miniclinal é, normalmente, composta por macro e micronutrientes. HIGASHI; SILVEIRA (2004) relatam que a aplicação da solução nutritiva, quando se utiliza recipiente menor, como tubetes ou vasos deve ser por inundação (“ebb flow”).

HIGASHI; SILVEIRA (2004) estabeleceram parâmetros adequados de manejo e formulação de solução nutritiva para minijardim clonal de *Eucalyptus* e *Pinus*, onde os nutrientes devem conter todos os elementos essenciais ao desenvolvimento das plantas, utilizando-se adubos de alta solubilidade. Recomendaram que a renovação da solução nutritiva, em sistema hidropônico fechado, deve ser realizada quando a condutividade elétrica atingir valor menor que $1,0 \text{ mS cm}^{-1}$.

Os fatores material genético (clone) e sistema de condução das minicepas são determinantes para a melhor formulação e balanço dos elementos que compõem a solução nutritiva (ASSIS; BAUER; ROSA, 1990). Portanto, as informações básicas sobre a nutrição mineral assumem grande importância, principalmente quando se visa à utilização mais adequada dos nutrientes em função das exigências nutricionais dos clones ou classes de clones (SGARBI et al., 1999).

As doses dos nutrientes na solução devem ser corrigidas conforme a espécie de *Pinus* a ser cultivada, tipo de substrato utilizado no minijardim e a época do ano (HIGASHI; SILVEIRA, 2004). Como não existem padrões ideais das concentrações de nutrientes, estabelecidos para minicepas de *P. taeda* destinadas a produção intensiva de brotos para miniestaquia, os nutrientes aplicados na formulação de soluções nutritivas têm sido diferenciados em função do estágio de desenvolvimento da muda e do material genético (SILVEIRA; HIGASHI, 2003). ALFENAS et al. (2004) observaram que problemas nutricionais podem ocorrer em minijardins clonais por deficiência ou excesso de algum elemento. Assim as características e quantidade de adubos a aplicar dependerão das necessidades nutricionais da espécie utilizada (VOGEL et al., 2005). Exemplos de solução fertilizante para *Pinus* sp são descritos no Quadro 1.

QUADRO 1- CONCENTRAÇÃO DE ELEMENTOS EM TECIDO FOLIAR E NA SOLUÇÃO FERTILIZANTE PARA *Pinus* sp.

	GONÇALVES ¹ (1995)	CHAVES ¹ ; CORRÊA (2003)	RIGESA ¹ (2004)	BUIJTENEN ² et al (1975)	FURLAN ² (2002)	SILVEIRA ² HIGASHI (2003)	HIGASHI ² ; SILVEIRA (2004)
	(g/Kg)	-	(g/Kg)	(ppm)	(mg L ⁻¹)	(mg L ⁻¹)	(mg L ⁻¹)
N	11,0 - 16,0	-	11,1	50	135,0	75 - 150	100 - 200
P	0,8 - 1,4	-	2,0	150	15,0	75 - 150	15 - 30
K	6,0 - 10,0	-	10,5	50	110,0	400 - 800	75 - 150
Ca	3,0 - 5,0	-	1,9	50	95,0	300 - 600	80 - 120
Mg	1,3 - 2,0	-	1,5	20	25,0	50 - 100	35 - 70
S	1,3 - 1,6	-	0,5	44	35,0	60 - 130	25 - 50
	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(mg L ⁻¹)	(mg L ⁻¹)	(mg L ⁻¹)
Fe	100 - 200	117,9 - 105,9	65	5,5	2,0	4	2,5 - 5,0
Mn	250 - 600	256,9 - 148,5	62	0,25	0,3	1,6	0,5 - 1,0
Cu	4,0 - 7,0	0,4 - 2,3	7	0,016	0,03	0,07	0,03 - 0,06
Zn	30,0 - 45,0	9,4 - 11,9	25	0,1	0,4	0,2	0,1 - 0,2
Na	-	-	90	-	-	-	-
B	12,0 - 25,0	10,8 - 9,2	16,4	0,01	0,6	0,5	0,25 - 0,40
Mo	-	-	-	0,01	0,06	0,02	0,01 - 0,02

(1) Faixas de teores de macro e micronutrientes na matéria seca das acículas *Pinus* sp.;

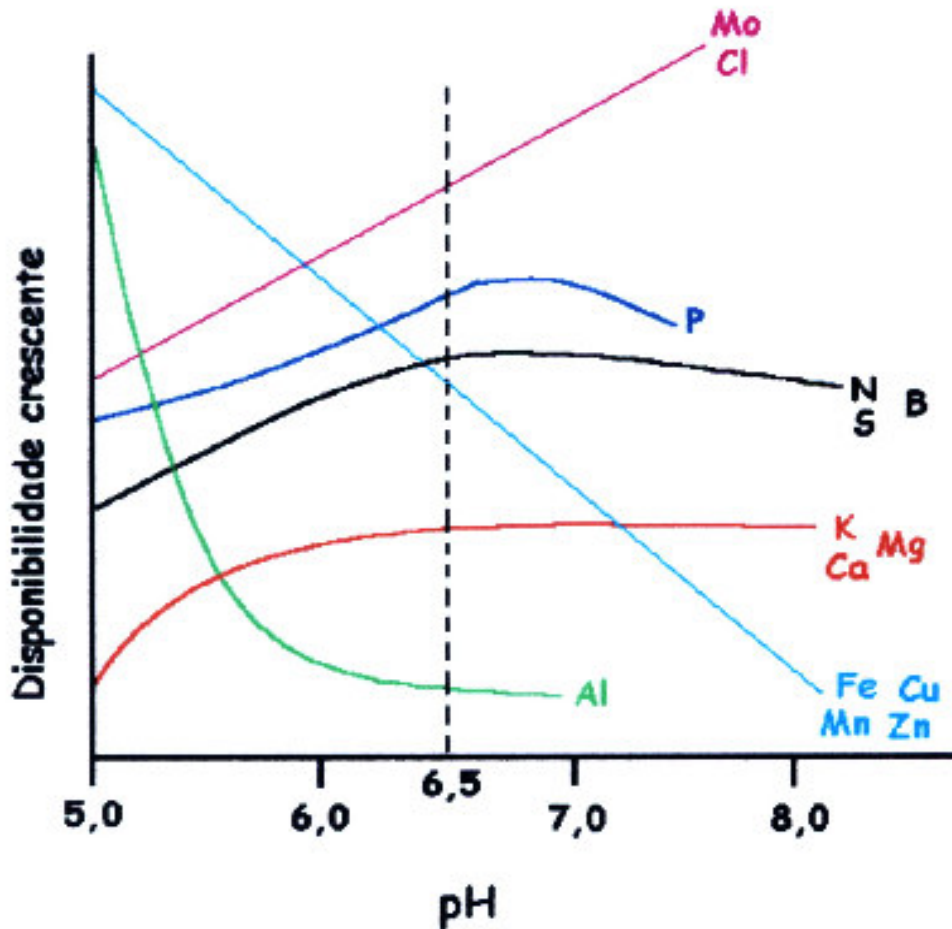
(2) Concentração dos elementos em solução fertilizante para *Pinus* sp.

2.7.1 pH e condutividade elétrica

O pH do solo influencia a solubilidade dos nutrientes e, conseqüentemente, a disponibilidade dos mesmos para as plantas. Em pH igual a 7,0 todos os macronutrientes estão disponíveis para as plantas, mas o zinco, o cobre, o manganês e o ferro são insolúveis em pH alto (PERES, 2004). De maneira geral, o valor de pH mais adequado para o desenvolvimento das plantas está entre 6 e 6,5, sendo o ideal chegar-se a um valor intermediário de pH onde todos os nutrientes estejam disponíveis (Gráfico 1). HIGASHI; SILVEIRA (2004) recomendam que o pH da solução nutritiva deve ser mantido entre 5,8 e 6,0.

GRÁFICO 1 - RELAÇÃO ENTRE O pH DO SOLO E A SOLUBILIDADE DE DIVERSOS NUTRIENTES.

Fonte: Adaptado de MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA (1989).



Mudanças no pH da solução nutritiva durante experimentações podem ser explicadas, a partir dos princípios de eletrocondutividade das células das plantas; alterações na carga total de cátions e de ânions na solução. Quando um cátion é absorvido pela raiz, um ânion também é absorvido e um cátion é liberado; assim, a absorção de NH_4^{+4} pode ser acompanhada da absorção de H^+ e afetar com isso o pH da vizinhança da raiz (MALDONADO, 1987). O incremento do pH da solução nutritiva se deve a absorção de NO_3^{-3} que se acompanha da absorção de H^+ e excreção de OH^- para manter o balanço de cargas. A magnitude da redução do pH da solução pode explicar em certa medida a redução da menor produção de matéria seca da parte aérea e das raízes das plantas (GALLEGOS-VÁSQUEZ et al., 2000).

SAWAS et al. (2003) verificaram em análise e visualmente a deficiência de Cu e Mn relacionado com certos valores de pH na rizosfera, que podem restringir a absorção de Cu, Mn e Zn. No caso do P, Ca e Mg, a explicação das alterações na absorção, estão ligadas à acidificação decorrente de maiores quantidades de NH_4^{+4} na solução nutritiva. Conforme o pH da solução se acidifica, aumenta a absorção destes elementos (STEINER,1984; _____,1985). Pode haver também interações no valor do pH da solução em combinações com baixas concentrações de nitrogênio, induzindo a deficiência de Mn (SAWAS et al., 2003).

A condutividade elétrica (CE) da solução nutritiva adequada para *Eucalyptus* está em torno de 1,25 a 2,3 mS cm^{-1} (SILVEIRA, et al.; 1999; HIGASHI; SILVEIRA; GONÇALVES, 2002) e entre 1,5 a 2,5 mS cm^{-1} para a maioria das culturas hidropônicas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 DESCRIÇÃO DO LOCAL

O presente estudo foi realizado durante o ano de 2004, sendo conduzido na Divisão Florestal da Rigesa Celulose Papel e Embalagens Ltda, localizada no município de Três Barras, Planalto Norte Catarinense, e situada a 26° 07' 41" S e 50° 19' 30" O, numa altitude de 780 m. A temperatura média anual é de 17 °C com ocorrência de geadas no inverno. A precipitação média anual é 1200 mm e a umidade relativa do ar média anual é 64% (Anexos 1 e 2).

O experimento foi conduzido em casa de vegetação com cobertura plástica e lateral em fibra de vidro, exaustores de ar com sistema "Pad Fan", aquecimento por resistência elétrica e "fogger", automatizados por sensores de umidade e temperatura (Anexo 3). A casa de vegetação era dividida em dois módulos que foram utilizados, um para instalação do minijardim clonal e o outro para conduzir o enraizamento das miniestacas, denominadas de casa de minijardim e casa de enraizamento, respectivamente (Anexo 4). Na casa de minijardim a temperatura média foi 28 °C (variando de 10 à 30°C) e a umidade relativa do ar em 75% ($\pm 5\%$). Na casa de enraizamento, a temperatura média foi de 30 °C (variando de 10 à 32°C) e a umidade relativa do ar em 90% ($\pm 5\%$). A temperatura e a umidade relativa dentro das casas foram monitoradas com auxílio do aparelho *BOX Car@Pro* (Versão 3.5⁺).

3.2 ESTRUTURAS DE MINIJARDIM

Foi desenvolvido um sistema de minijardim clonal hidropônico com fertilização por subirrigação. O sistema consistiu em nove bancadas de minijardim (Anexo 3 E) para a condução de minicepas. Cada bancada era composta de dois reservatórios de fibra de vidro para as soluções nutritivas e quatro bombas (duas para o bombeamento da solução nutritiva e duas para agitar as soluções). Sobre os reservatórios, duas cubas de aço inox, sobre as quais permaneceram as minicepas, acondicionadas em tubetes de plástico de 56 cm³, contendo o substrato Plantmax[®],

dispostos em bandejas de 96 células, em plástico rígido. Todos os orifícios das bandejas foram mantidos ocupados para evitar a queda de acículas na solução nutritiva. A superfície das bandejas plásticas foi pintada com tinta branca, pois a cor escura poderia aumentar a absorção de luz, elevando excessivamente a temperatura induzindo o super aquecimento do colete das minicepas.

A irrigação e a nutrição mineral foram realizadas por meio de um sistema automatizado de fertirrigação por inundação, com uma a três inundações diárias conforme a umidade observada no substrato, de maneira que somente o sistema radicular permanecia em contato com a solução nutritiva.

3.3 ESCOLHA DAS PROGÊNIES DE *P. taeda*

As sementes utilizadas para produzir as mudas do estudo para avaliar o potencial de enraizamento de miniestacas e substrato, foram provenientes de dez famílias do pomar de Primeira Geração de *P. taeda* originadas de polinização aberta, selecionadas por produtividade.

Para o trabalho de determinação de solução nutritiva para fertilização, as minicepas do minijardim eram provenientes de sementes de cruzamentos controlados de dez famílias do Pomar de Segunda Geração de *P. taeda*, selecionadas por produtividade.

Os pomares citados são de propriedade da Rigesa Florestal, localizados em Três Barras/SC.

3.4 OBTENÇÃO E CULTIVO DE MINICEPAS DE *P. taeda* EM MINIJARDIM CLONAL

Foram utilizadas 188 minicepas para cada tratamento. As minicepas foram originadas a partir de mudas de 150 dias de idade, preparadas com sementes de polinização controlada, produzidas em tubetes plásticos de 56 cm³ de volume, com substrato comercial Plantmax[®] Muda, com adubação de base de 150g de Osmocote[®] 15N-09P-12K por m³ de substrato.

Para minimizar a interferência da adubação de base, as mudas foram lixiviadas com 1.300 litros de água aos 100 dias de idade. Após este tratamento, as mudas foram submetidas ao sistema hidropônico com fertilização por subirrigação, em casa de vegetação. A primeira poda de formação das minicepas foi realizada sete dias após a adição das soluções nutritivas no sistema. A altura de poda variou de oito a 10 cm da base, que em decorrência da sua idade já tinham mais de 20 cm de altura, permanecendo algumas acículas para forçar a emissão de brotações ao longo da haste da muda. Após 40 dias da primeira poda, foi realizada a segunda poda de formação a quatro cm da base, para estimular a formação de brotações na região basal, assumindo-se que brotações mais próximas à base fornecem miniestacas com maior potencial de enraizamento.

A coleta de brotações iniciou 45 dias após a segunda poda das minicepas, foi seletiva, contínua e em número de nove, preservando o bom estado vegetativo da minicepa (Anexo 5). Também foi realizada poda mensal do excesso de raízes formadas na base dos tubetes.

3.5 FERTILIZAÇÃO POR SUBIRRIGAÇÃO

O experimento utilizou oito tratamentos (Anexos 6 a 9). O tratamento nove correspondeu à testemunha, subirrigada somente com água. As soluções foram elaboradas com base em valores de referência para plantas de pinus observados em literatura (Quadro 1). As soluções nutritivas foram renovadas a cada 30 dias, quando era realizada uma “lavagem” no substrato, inundando a cuba cinco vezes, circulando o volume de 320 litros de água. Este procedimento permitiu minimizar a ocorrência de salinização no substrato.

Cada tratamento (solução nutritiva) contava com dois manejos (repetições) diferentes para complementação do volume inicial de solução (80 litros). Sempre que o volume inicial da solução nutritiva diminuía 20 litros, em uma repetição o volume era completado com solução nutritiva e na outra repetição era completado com água. O consumo de solução nutritiva foi ocasionado pela absorção das minicepas e pela evapotranspiração.

O minijardim durante o outono foi fertirrigado com uma inundação diária e no verão, a fertirrigação variou de uma a três inundações diárias em função da temperatura e da quantidade de brotações nas minicepas.

3.6 COLHEITA, PREPARO E MANEJO DE MINIESTACAS

Foram realizados dois experimentos, sendo o primeiro, um estudo para avaliar o potencial de enraizamento de miniestacas provenientes de ponteiros de mudas jovens de famílias de *P. taeda* e determinação de substrato para enraizamento de miniestacas. Para este experimento, foram utilizadas mudas de *P. taeda* de 90 dias, provenientes de dez famílias de polinização aberta. As miniestacas foram confeccionadas com cinco cm de comprimento, utilizando o broto apical de 114 mudas de cada família. As brotações foram colhidas com auxílio de tesoura e utilizadas como miniestacas mantendo as acículas. Aos 60 dias após o estaqueamento, as miniestacas foram retiradas do substrato, e avaliado a porcentagem de enraizamento de miniestacas para cada família.

O segundo experimento, realizado para determinar uma solução nutritiva para fertilização de minijardim de *P. taeda*, utilizou as brotações de 188 minicepas por tratamento, em nove coletas. Foram utilizadas miniestacas com cerca de cinco cm de comprimento, colhidas das minicepas com auxílio de tesoura, realizando corte reto na base da estaca, mantendo as acículas. A avaliação da porcentagem de enraizamento das miniestacas foi aos 70 dias.

As miniestacas dos dois experimentos foram estaqueadas em tubetes de polipropileno com 12 cm de comprimento, 3 cm de diâmetro e volume de 56 cm³, em bandejas plásticas planas de 12 x 19 células.

No primeiro experimento utilizou-se como substrato Plantmax[®] e Vermiculita[®] fina, para o segundo experimento foi utilizado como substrato Plantmax[®]. A composição e as características químicas dos substratos Plantmax[®] e Vermiculita[®] encontram-se no Anexo 10.

Após o estaqueamento as miniestacas foram mantidas na casa de enraizamento, recebendo irrigação por nebulização, cuja frequência e intensidade eram ajustadas de maneira a evitar a saturação do substrato mantendo umidade

sobre as acículas. A irrigação por nebulização foi mantida por três segundos em intervalo de três minutos, por sete dias; passando a ser realizada somente durante o dia, por 15 dias. Após os 21 dias a irrigação foi realizada três vezes ao dia. Depois de 45 dias até a data de avaliação da porcentagem de enraizamento, a irrigação foi realizada sempre que necessário, de modo a manter a umidade do substrato, evitando sempre o encharcamento deste.

3.7 DETERMINAÇÕES REALIZADAS

No experimento para avaliar o potencial de enraizamento de miniestacas provenientes de ponteiros de mudas jovens de famílias de *P. taeda* e determinação de substrato para enraizamento de miniestacas a avaliação da porcentagem de enraizamento ocorreu aos 60 dias após o estaqueamento.

No experimento para determinar uma solução nutritiva para fertilização de minijardim de *P. taeda*, foram analisados o número de miniestacas coletadas nas minicepas em nove coletas sucessivas e a porcentagem de enraizamento das miniestacas, quando fertilizadas com diferentes soluções nutritivas. A avaliação da porcentagem de enraizamento ocorreu aos 70 dias após o estaqueamento. A testemunha mantida em hidroponia irrigada só com água, não apresentou desenvolvimento compatível com os demais tratamentos que foram irrigados com soluções nutritivas, não sendo considerada na análise porque não produziu miniestacas até a nona coleta.

As análises laboratoriais de tecido vegetal, soluções nutritivas e água foram realizadas na empresa Unithal[®] em Campinas, SP (Anexo 11). A água utilizada para o preparo das soluções nutritivas e como testemunha foi analisada para determinar os mesmos parâmetros das soluções nutritivas (Anexo 12). As soluções nutritivas foram analisadas para determinação da concentração de elementos químicos.

A água e as soluções nutritivas utilizadas no experimento de fertilização foram analisadas quimicamente para determinação das concentrações dos seguintes nutrientes: Na, K, Ca, Mg, S, P, Cl, Fe, Mn, Cu, Zn, B, Mo e determinação dos valores de pH e eletrocondutividade. Para estas determinações foi utilizada uma amostra de 500 mL da solução inicial e uma amostra de igual volume da solução

circulante, no momento da troca da solução nutritiva (Anexos 13 e 14). P foi determinado pelo método de colorimetria de molibdato-vanadato; K por fotometria de chama; Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn e S por espectrometria de absorção atômica e a determinação do B foi realizada por colorimetria de azometina-H.

Para cada tratamento com solução fertilizante, incluindo-se a testemunha foram coletados, 30 brotos aleatoriamente, aos 40, 90 e 180 dias, para análise dos teores de nutrientes no tecido foliar (Anexos 15 e 16).

O procedimento para as determinações utilizando tecido foliar foi realizado da seguinte maneira: os 30 brotos foram secos e moídos, submetidos às digestões nítrico-perclórica e sulfúrica para a obtenção dos extratos, visando à determinação dos macros e micronutrientes, conforme metodologia descrita por MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA (1997). A determinação do nitrogênio foi realizada através do método micro Kjeldahl; P foi determinado pelo método de colorimetria de molibdato-vanadato; K por fotometria de chama; Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn por espectrometria de absorção atômica; S por turbidimetria de suspensão de sulfato de bário e a determinação do B foi realizada por colorimetria de azometina-H.

3.8 DELINEAMENTO E ANÁLISE ESTATÍSTICA

O delineamento experimental utilizado nos experimentos foi blocos casualizados em esquema fatorial. Para o experimento que testou substrato e sua interação com família, foram utilizados quatro blocos, em esquema fatorial, sendo os fatores substrato (Plantmax[®] e Vermiculita[®]) e família (de 1 a 10). Já o experimento para determinação de solução nutritiva para fertilização de minijardim, foi estabelecido em esquema fatorial, com duas repetições na solução fertilizante (água e solução fertilizante) sendo os fatores solução fertilizante (de 1 a 8) em diferentes coletas (de 1 a 9).

As variâncias foram inicialmente avaliadas quanto à sua homogeneidade pelo teste de Bartlett. Como as variáveis apresentaram variâncias heterogêneas, tiveram seus valores originais transformados por arco seno \sqrt{x} quando os valores eram porcentagem, e raiz quadrada $\sqrt{x+0,5}$ para os valores referentes à contagem de estacas produzidas. Quando os resultados revelaram existir diferenças entre as médias dos tratamentos, as médias foram comparadas pelo teste Student Newman Keuls OU (S-N-K) a 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas com o programa estatístico MSTAT-C[®] 2.0.

O modelo matemático utilizado para a análise de variância do experimento com substrato é apresentado na equação (1):

$$\gamma_{ij} = \mu + \tau_i + \nu_j + \tau\nu_{ij} + \varepsilon_{ij} \quad (1)$$

Em que: γ_{ij} = observação do i-ésimo tratamento na j-ésima parcela;
 μ = efeito constante (média geral);
 τ_i = efeito do i-ésimo substrato (Plantmax[®] e Vermiculita[®]);
 ν_j = efeito da j-ésima família (de 1 a 10);
 $\tau\nu_{ij}$ = interação substrato versus família;
 ε_{ij} = erro associado ao i-ésimo tratamento na j-ésima parcela.

Sob este modelo foram testadas as hipóteses:

$$H_0: \text{Plantmax}^{\text{®}} = \text{Vermiculita}^{\text{®}}$$

$$H_1: \text{Plantmax}^{\text{®}} \text{ difere de Vermiculita}^{\text{®}}$$

O modelo matemático utilizado para a análise de variância do experimento com solução nutritiva é apresentado na equação (2):

$$\gamma_{ijk} = \mu + \tau_i + \nu_j + \omega_k + \tau\nu_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad (2)$$

Em que: γ_{ijk} = observação do i-ésimo tratamento na j-ésima parcela;

μ = efeito constante (média geral);

τ_i = efeito do i-ésimo complemento (água e solução nutritiva);

ν_j = efeito da j-ésima solução nutritiva (de 1 a 8);

ω_k = efeito da k-ésima coleta (de 1 a 9);

$\tau\nu_{kj}$ = interação coleta versus solução nutritiva;

ε_{ijk} = erro associado ao i-ésimo tratamento na j-ésima parcela.

Sob este modelo foram testadas as hipóteses:

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_n$$

$$H_1 : \mu_i \neq \mu_{i'} \quad \text{para pelo menos um par } (i, i')$$

Em que:

μ_i = corresponde à média da variável dependente da solução nutritiva "i", com i variando de 1 a 8.

μ_i = corresponde à média da variável dependente da coleta "i", com i variando de 1 a 9.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ENRAIZAMENTO DE MINIESTACAS ORIGINADAS DE BROTAÇÃO APICAL DE MUDAS JOVENS DE DEZ FAMÍLIAS DE *P. taeda* USANDO DOIS TIPOS DE SUBSTRATOS

O percentual obtido de enraizamento, para miniestacas provenientes de brotação apical de mudas jovens de famílias de *P. taeda* variou de 42,9% a 98,2% de acordo com a família e substrato usado, conforme apresentado na Tabela 1 .

Para o substrato Plantmax[®], as famílias testadas não diferiram estatisticamente ($p < 0,05$), mas como este substrato apresentou a melhor porcentagem de enraizamento foi selecionado para o outro experimento. FURLAN (2002) relatou que as porcentagens de enraizamento variaram entre famílias de *P. caribaea* var. *hondurensis* propagadas, com os melhores resultados superando 90%. HAMANN (1995) encontrou diferença significativa no enraizamento das estacas de *P. taeda* para as diferentes famílias testadas, resultado semelhante ao obtido para o substrato Vermiculita[®].

TABELA 1 - ENRAIZAMENTO MÉDIO DE MINIESTACAS PROVENIENTES DE BROTO APICAL DE MUDAS COM 90 DIAS DE IDADE, DE DEZ FAMÍLIAS DE POLINIZAÇÃO ABERTA DE *P. taeda*, AVALIADAS 70 DIAS APÓS O ESTAQUIAMENTO EM DOIS TIPOS DE SUBSTRATO (PLANTMAX[®] E VERMICULITA[®]).

Substrato	Família (% de Enraizamento)										Média
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Plantmax [®]	94,0	93,9	94,5	92,7	90,9	98,2	96,2	82,5	91,3	90,3	92,7
Vermiculita [®]	74,0	77,1	64,2	62,7	56,8	42,9	63,5	68,4	54,3	87,1	64,3
Média da família	84,4	85,2	79,4	77,9	72,0	71,4	79,4	74,9	73,1	87,5	78,5

O tipo de substrato utilizado afetou a porcentagem de enraizamento das estacas. O resultado observado utilizando o substrato Plantmax[®] foi estatisticamente ($p < 0,05$) superior ao obtido com o substrato Vermiculita[®]. Semelhante ao observado por CANCELA; VIANA; HIGA (2003) a vermiculita não se mostrou um substrato

adequado para enraizamento de estacas de *P. taeda*, com esta pode-se obter melhores resultados quando misturada a outros substratos.

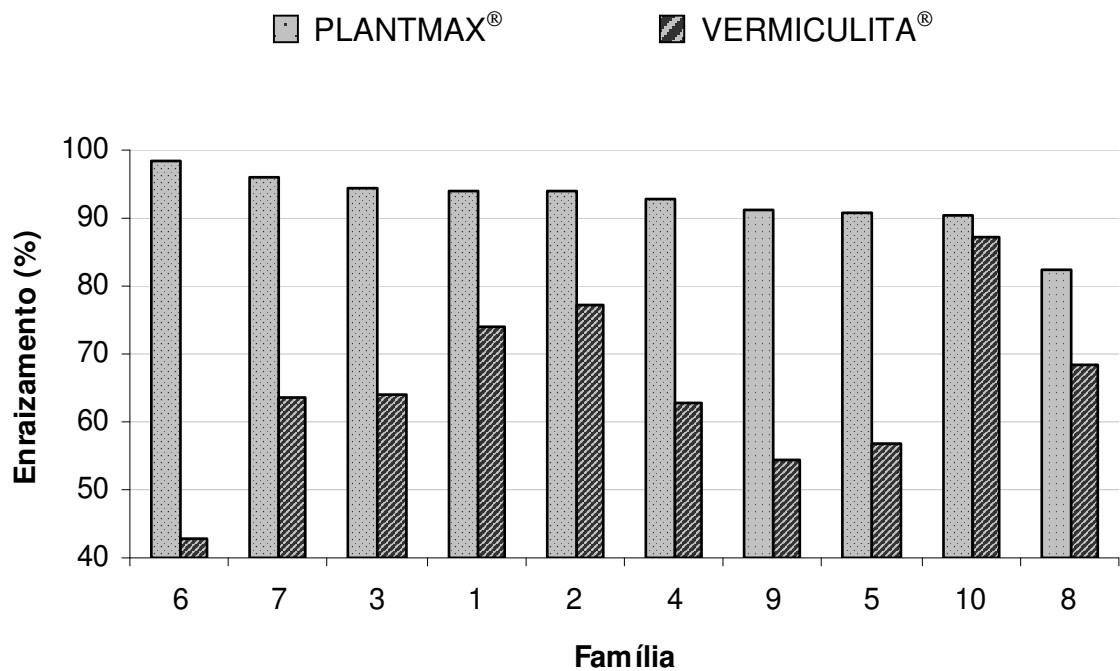
Estes resultados melhores, provavelmente devem-se ao fato do substrato Plantmax[®] ser formulado à base de casca de pinus compostada, material que propicia uma drenagem satisfatória, de forma a manter em equilíbrio as percentagens entre ar e água, evitando a morte dos tecidos da base das estacas. Pois um substrato para enraizamento deve oferecer suprimento de água adequado e uma boa relação umidade ar/água para indução e formação de raízes, concordando também com MAIA (1999), onde a mistura de casca de pinus compostada melhorou a porosidade e a aeração do substrato, sendo este um dos substratos mais utilizados. Resultados similares ao deste estudo, utilizando casca de pinus compostada como substrato para enraizamento de estacas de *P. taeda*, foram relatados por ROCHA; NIELLA (2002) em testes para indução de enraizamento utilizando como substrato uma mistura de três partes de casca de pinus compostada para uma parte de perlita; já NIELLA et al. (2003) utilizaram com sucesso casca de pinus compostada como substrato para enraizamento de estacas de *P. taeda*.

O substrato Plantmax[®], com pH de 5,7 resultou em melhor taxa de enraizamento quando comparado a Vermiculita[®] com pH 6,4. GRUSZYNSKI (2002) afirma que o valor de pH do substrato pode afetar atividades fisiológicas como o enraizamento e que o pH de 5,0 – 5,8 é o ideal para culturas em geral. Outra característica física do substrato que interfere no enraizamento é a CTC, que para Plantmax[®] é de 37,3 meq/100g e para Vermiculita[®] é de 11,3 meq/100g. Conforme BATAGLIA; FURLANI (2004) que descrevem valores entre 75 a 150 meq/100g como ideais para substratos, sendo aceitável valor superior a 20 meq/100g, o valor da CTC da vermiculita está abaixo do aceitável. Substratos com maior teor de matéria orgânica apresentam maior CTC.

Considerando as características químicas (CTC e pH) dos substratos testados, as médias de enraizamento de 98,2% (Plantmax[®]) e 42,9% (Vermiculita[®]) e os resultados de ROCHA; NIELLA (2002) e NIELLA et al. (2003) observa-se que o substrato mais indicado para enraizamento de miniestacas de *P. taeda* é o Plantmax[®].

A análise estatística revelou que o fator família e a interação substrato versus família não foram estatisticamente significativos ($p < 0,05$) (Anexo 17). Quando o substrato utilizado foi a Vermiculita®, a média de enraizamento de todas as famílias foi 64,3%. Embora a interação substrato versus família não tenha apresentado valor significativo estatisticamente ($p < 0,05$), na progênie 6 houve resposta muito distinta para os substratos testados e na progênie 10 observou-se uma certa plasticidade em relação ao substrato (Gráfico 2).

GRÁFICO 2 - PORCENTAGEM DE ENRAIZAMENTO DE MINIESTACAS PROVENIENTES DA COLETA DE BROTAÇÃO APICAL DE MUDAS DE DEZ FAMÍLIAS DE POLINIZAÇÃO ABERTA DE *P. taeda*, AVALIADAS AOS 70 DIAS DE CULTIVO EM DOIS TIPOS DE SUBSTRATO (PLANTMAX® E VERMICULITA®).



Embora o gênero *Pinus* tenha sido considerado de difícil enraizamento, WISE; CALDWELL (1992) relataram porcentagens de enraizamento de 0 a 60% para *P. taeda* e até 89% para *P. elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis*. Os experimentos conduzidos resultaram em porcentagem média de enraizamento de 78,5%, sendo este valor superior ao obtido pelos autores citados anteriormente.

O resultado de enraizamento das brotações apicais, utilizadas como miniestacas, está de acordo com DIAZ-SALA et al. (1996) que relata que miniestacas de *P. taeda* originadas do hipocótilo retêm a capacidade de regenerar raízes quando originadas de mudas de 50 dias. Resultado similar foi observado por ALCANTARA (2005) onde miniestacas da mesma espécie coletadas de mudas mais jovens (60 dias de idade) apresentaram 85% de enraizamento em comparação com 8,7% quando as miniestacas foram colhidas de mudas de 150 dias de idade.

Conforme resultado obtido neste estudo, brotações apicais de mudas jovens de *P. taeda* enraízam com facilidade, entretanto é possível obter apenas uma miniestaca de cada muda. Logo o desafio é estabelecer jardins clonais como fontes doadoras de miniestacas, onde as miniestacas produzidas expressem o mesmo padrão morfofisiológico das miniestacas provenientes das brotações juvenis e cujo número de miniestacas produzidas possibilite a propagação massal.

4.2 DETERMINAÇÃO DE SOLUÇÃO NUTRITIVA PARA MINIJARDIM CLONAL DE *P. taeda*

Os resultados (Tabela 2) demonstraram que não houve diferença estatística significativa para miniestacas produzidas e enraizadas, quando o volume consumido de solução fertilizante foi completado com água ou com solução nutritiva ou interações desta complementação com os demais fatores analisados (Anexo 18), por isso, as duas formas de complementação (solução nutritiva e água) foram consideradas como repetições do mesmo tratamento.

TABELA 2 – PORCENTAGEM DE ENRAIZAMENTO E NÚMERO DE MINIESTACAS COLHIDAS DE MINICEPAS DE *P. taeda* CULTIVADAS EM SISTEMA DE SUBIRRIGAÇÃO COM DIFERENTES SOLUÇÕES FERTILIZANTES, EM NOVE COLETAS, AVALIADAS AOS 70 DIAS.

Trat	Comp	Coleta																		Total	Média	Média			
		1		2		3		4		5		6		7		8		9				NE	PE		
1	1	15	13,0	46	24,0	3	33,0	56	34,0	20	30,0	38	18,0	17	47,0	18	0,0	14	21,0	227	24,4	23,50	28,78		
1	2	9	56,0	47	36,0	4	50,0	38	32,0	16	31,0	19	0,0	17	53,0	21	19,0	25	20,0	196	33,0				
2	1	22	41,0	122	19,0	7	43,0	108	16,0	29	10,0	76	11,0	13	31,0	25	32,0	16	31,0	418	26,0	44,89	21,32		
2	2	30	33,0	80	19,0	13	8,0	89	15,0	41	10,0	67	16,0	21	29,0	35	14,0	14	7,0	390	16,7				
3	1	19	32,0	23	30,0	11	27,0	64	14,0	41	10,0	38	16,0	18	17,0	40	8,0	8	0,0	262	17,1	26,72	19,61		
3	2	15	27,0	24	33,0	9	33,0	38	29,0	29	3,0	27	22,0	29	24,0	36	11,0	12	17,0	219	22,1				
4	1	36	50,0	53	34,0	19	32,0	100	33,0	25	12,0	38	26,0	27	41,0	32	22,0	8	0,0	338	27,7	40,78	28,14		
4	2	25	60,0	48	33,0	15	20,0	109	35,0	39	15,0	84	18,0	25	36,0	30	30,0	21	10,0	396	28,5				
5	1	38	50,0	36	42,0	16	31,0	233	45,0	47	4,0	48	8,0	47	36,0	36	14,0	29	3,0	530	25,8	51,94	27,17		
5	2	42	43,0	58	40,0	17	47,0	140	36,0	28	7,0	43	0,0	33	45,0	37	8,0	7	29,0	405	28,3				
6	1	24	75,0	41	41,0	18	44,0	57	28,0	44	2,0	40	8,0	29	38,0	34	6,0	9	33,0	296	30,5	33,44	29,57		
6	2	17	65,0	31	45,0	14	50,0	145	25,0	18	17,0	12	0,0	19	37,0	31	13,0	19	5,0	306	28,5				
7	1	16	69,0	34	44,0	14	50,0	76	57,0	26	12,0	45	9,0	38	32,0	25	16,0	13	46,0	287	37,2	25,61	37,27		
7	2	9	89,0	16	44,0	2	100,0	47	23,0	18	6,0	28	11,0	26	27,0	21	10,0	7	29,0	174	37,6				
8	1	23	61,0	29	62,0	9	33,0	117	49,0	32	16,0	31	6,0	34	29,0	27	19,0	4	0,0	306	30,5	29,94	29,69		
8	2	21	76,0	26	35,0	5	40,0	63	40,0	23	22,0	29	3,0	24	38,0	32	6,0	10	0,0	233	28,8				
Total		361		714		176		1480		476		663		417		480		216		4983					
Médias		22,56	52,41	44,63	36,33	11,00	40,13	92,50	31,83	29,75	12,92	41,44	10,81	26,06	34,92	30,00	14,18	13,50	15,71			26,91			

NE = Nº de miniestacas coletadas em 188 minicepas

PE = % de miniestacas enraizadas

Comp 1 = solução fertilizante + solução fertilizante

Comp 2 = solução fertilizante + água

Tratamento 1: FURLAN (2002);

Tratamento 2: BUIJTENEN et al. (1975);

Tratamento 3: Combinação das concentrações mínimas dos tratamentos 1 e 2;

Tratamento 4: Combinação das concentrações máximas dos tratamentos 1 e 2;

Tratamento 5: Combinação das concentrações médias dos tratamentos 1 e 2;

Tratamento 6: Recomendação Rigesa para fertilização de mudas de pinus;

Tratamento 7: Baseado na concentração dos macro e micronutrientes encontrados na análise foliar de mudas comerciais de *P. taeda* da Rigesa(*)

Tratamento 8: Baseado nos resultados de análise foliar de GONÇALVES (1975) (*)

(*) $Y = EL \times 15$ onde: Y = concentração utilizada na solução nutritiva e EL = concentração do elemento nas acículas (g Kg⁻¹), adaptado de MONTEIRO et al., (2000).

4.2.1 Produtividade do minijardim de *P. taeda*

As variáveis solução nutritiva e coleta e a interação desses fatores foram estatisticamente significativas para número de miniestacas produzidas indicando que seus efeitos não são independentes (Anexo 19). A variável produção de miniestacas foi afetada pela solução nutritiva utilizada. Como não existem padrões ideais das concentrações de nutrientes, estabelecidos para minicepas de *P. taeda* destinadas a produção intensiva de brotos para miniestaquia, foi estabelecido este experimento comparando oito soluções nutritivas.

O teste de comparação de médias (Quadro 2) demonstrou que o tratamento 5 foi o melhor para a produção de brotos. Este tratamento foi estabelecido com base nas soluções fertilizantes para *Pinus* sp. descritas por FURLAN (2002) e BUIJTENEN et al. (1975), utilizando a concentração média destas soluções.

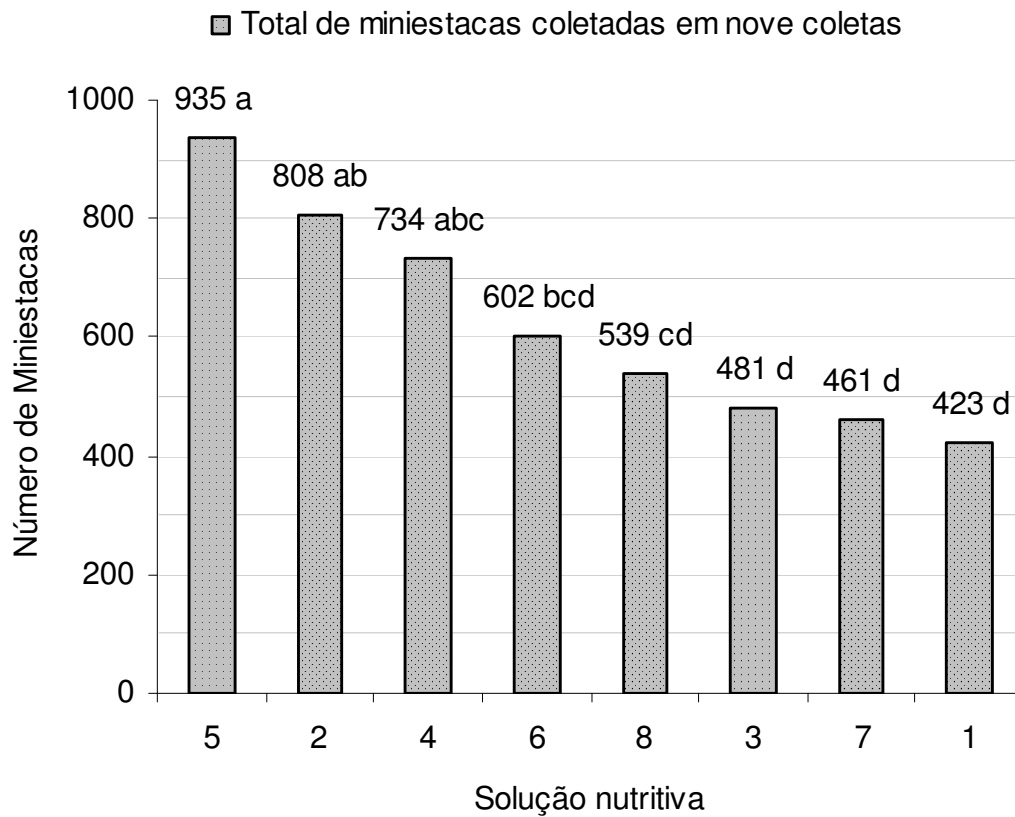
QUADRO 2 - COMPARAÇÃO DAS MÉDIAS DE MINIESTACAS COLHIDAS DE MINICEPAS DE *P. taeda*, CULTIVADAS EM SISTEMA DE SUBIRRIGAÇÃO COM DIFERENTES SOLUÇÕES NUTRITIVAS EM NOVE COLETAS.

Solução Nutritiva	Média de miniestacas colhidas*
5	51,9 a
2	44,9 ab
4	40,8 abc
6	33,4 bcd
8	29,9 cd
3	26,7 d
7	25,6 d
1	23,5 d

*Médias seguidas das mesmas letras minúsculas não diferem significativamente pelo Teste S-N-K a 5% de probabilidade.

As médias de miniestacas produzidas nos diferentes tratamentos utilizados, após as nove coletas estão demonstradas no Gráfico 3.

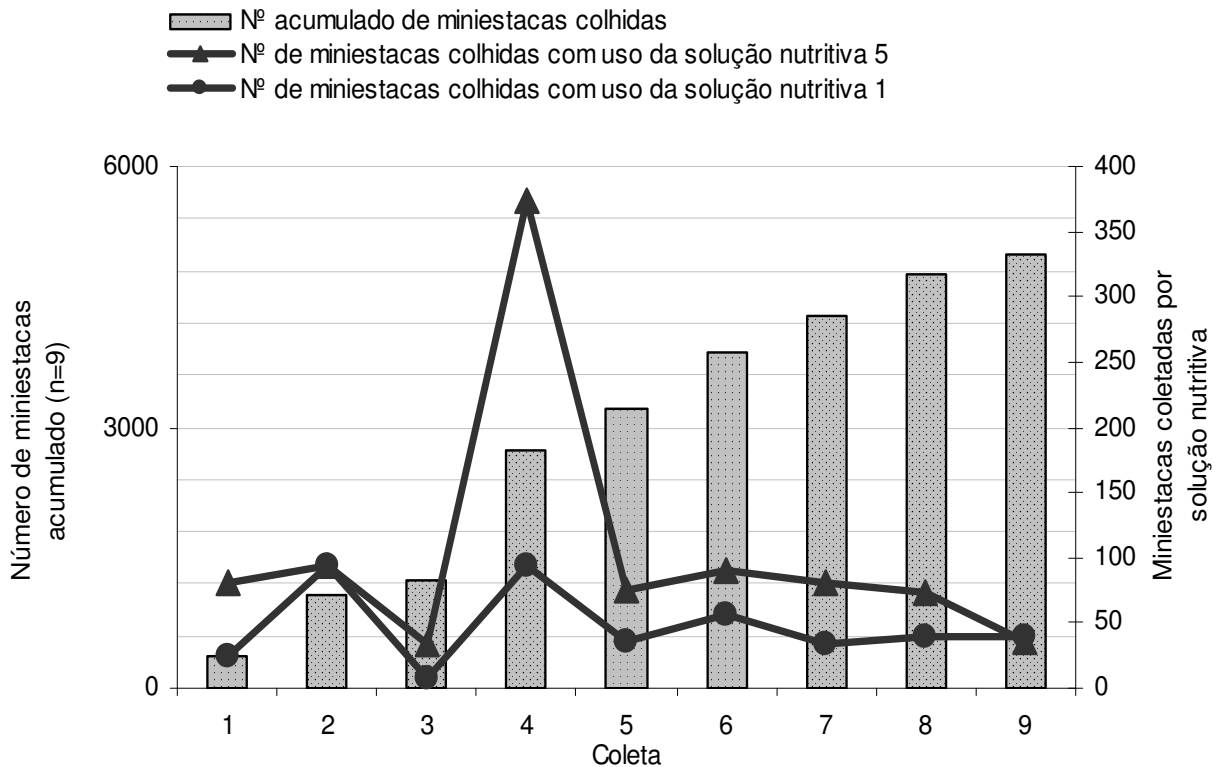
GRÁFICO 3 - NÚMERO TOTAL DE MINIESTACAS COLHIDAS DE MINICEPAS DE *P. taeda* EM NOVE COLETAS, CULTIVADAS EM OITO SOLUÇÕES NUTRITIVAS NO SISTEMA DE SUBIRRIGAÇÃO.



A média de miniestacas produzidas no tratamento 5 foi 121% superior à média produzida no tratamento 1 (Gráfico 3). Para as demais soluções nutritivas estudadas não foram encontradas variações estatisticamente significativas ($p < 0,05$) na produção de miniestacas.

No gráfico 4 é feita uma comparação com o número de miniestacas colhidas nas soluções nutritivas número 5 e 1, por terem sido, respectivamente a mais e a menos eficientes.

GRÁFICO 4 - COMPARAÇÃO ENTRE O NÚMERO DE MINIESTACAS COLHIDAS DE MINICEPAS DE *P. taeda* CULTIVADAS EM SISTEMA DE SUBIRRIGAÇÃO, COM USO DAS SOLUÇÕES NUTRITIVAS 1 E 5 E TOTAL ACUMULADO DE MINIESTACAS EM NOVE COLETAS.



Como pode ser observado, a solução nutritiva 5 produziu maior número de miniestacas nas nove coletas, demonstrando que o fator nutrição interferiu na produção de miniestacas.

O maior número de miniestacas foi colhido na coleta quatro ($n = 1.480$) quando a minicepa estava com 115 dias de idade, em cultivo no minijardim. As coletas dois ($n = 714$) e seis ($n = 663$) também resultaram em número de miniestacas superior as demais coletas, excluída a coleta quatro. Na primeira coleta, após a decapitação das mudas para a formação das minicepas, esta produziu de uma a duas miniestacas/cepa somente, entretanto, o número de miniestacas produzidas deve aumentar após algumas coletas sucessivas. Observou-se também, que as minicepas emitiram poucas brotações, após a primeira coleta, possivelmente

em razão da persistência da dominância apical. Em coletas sucessivas, pôde-se observar aumento nas brotações emitidas e uma tendência de perda da dominância apical. Semelhante ao observado por TITON et al. (2003) que relatam que clones juvenis de *Eucalyptus grandis* teriam maior potencial de dominância apical e, que a depender do manejo, após coletas sucessivas pode-se observar forte tendência a perda da dominância apical. Desta forma deve-se dar especial atenção ao manejo das brotações, de modo a garantir maior produção de miniestacas conservando o enraizamento.

O teste de comparação de médias, referente ao número de miniestacas colhidas por coleta revelou que a melhor coleta foi a número 4, seguida das coletas 2 e 6. As demais coletas não diferiram estatisticamente entre si (Quadro 3).

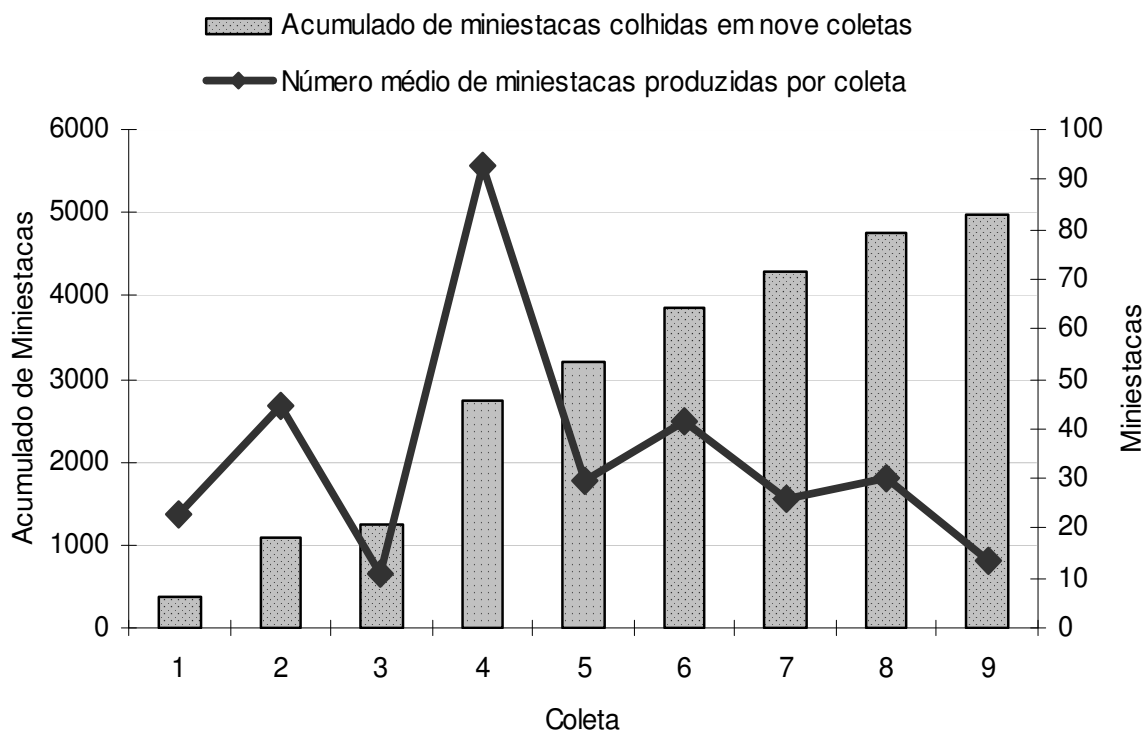
QUADRO 3 - COMPARAÇÃO DAS MÉDIAS DE MINIESTACAS COLHIDAS DE MINICEPAS DE *P. taeda*, EM NOVE COLETAS, CULTIVADAS EM SISTEMA DE SUBIRRIGAÇÃO COM DIFERENTES SOLUÇÕES NUTRITIVAS.

Coleta	Média de miniestacas por coleta*
4	92,5 a
2	44,6 b
6	41,4 b
8	30,0 c
5	29,7 c
7	26,6 cd
1	22,6 cde
9	13,5 de
3	11,0 e

*Médias seguidas das mesmas letras minúsculas não diferem significativamente pelo Teste S-N- K a 5% de probabilidade.

Um aumento na produção de brotações ocorreu na coleta número 4. As demais coletas 1, 3, 5, 7, 8 e 9 não diferiram estatisticamente entre si ($p < 0,05$). Com base no número de miniestacas colhidas em cada coleta, pode-se inferir que o número maior de miniestacas coletadas na segunda semana poderia explicar o pequeno número de miniestacas coletadas na terceira semana, quando a maioria das miniestacas não apresentava o tamanho ideal para colheita tendo sido deixadas para serem coletadas na quarta coleta, explicando o maior número de miniestacas colhidas na coleta quatro.

GRÁFICO 5 - COMPARAÇÃO ENTRE O NÚMERO DE MINIESTACAS COLHIDAS EM CADA COLETA E O NÚMERO TOTAL DE MINIESTACAS COLHIDAS DE MINICEPAS DE *P. taeda*, CULTIVADAS EM SISTEMA DE SUBIRRIGAÇÃO COM DIFERENTES SOLUÇÕES NUTRITIVAS NAS NOVE COLETAS.



Comparando os resultados obtidos por XAVIER; COMÉRIO (1996) e WENDLING et al. (2000b) com *Eucalyptus*, fica evidente que o intervalo entre uma coleta e outra interferiu no número de miniestacas obtidas por coleta neste estudo, podendo-se concluir que o intervalo de sete dias entre coletas pode ter sido insuficiente para que as novas brotações atingissem o tamanho requerido de 5 cm para as miniestacas (Gráfico 5).

Provavelmente, a nutrição equilibrada permitiu o desenvolvimento de brotações mais vigorosas em apenas sete dias, entretanto as diferenças de número de miniestacas obtidas nas diferentes coletas, podem ser associadas aos genótipos

e ao manejo de coleta e fertirrigação adotados. Os resultados deste experimento, onde as coletas foram seletivas por tamanho (5 cm) de miniestacas, concordam com os obtidos por NIELLA; ROCHA (2004c) no estudo para manejo de rebrota em cepas de *P. taeda*, em dois ciclos de colheita de miniestacas, onde o manejo da brotação teve efeito significativo na produção de miniestacas por planta, chegando a 6,21 brotos úteis por cepa quando o manejo da rebrota foi também corretivo e 2,24 para podas seletivas. No conceito de manejo seletivo e corretivo, o tamanho das brotações coletadas é fundamental para obter miniestacas aptas a enraizar, entretanto não é tarefa fácil descrever o ponto ideal de coleta, pois este ponto é variável entre clones e requer muita experiência do viveirista. Em miniestacas de *P. taeda*, brotações muito pequenas (menor que três cm) não enraízam, morrendo facilmente. Podas drásticas nas brotações devem ser evitadas, pois reduzem a formação de brotos, diminuindo a ação fotossintética podendo levar a morte da minicepa.

É oportuno salientar que, embora o resultado do número de miniestacas produzidas nas minicepas deste trabalho sejam promissores, eles não indicam necessariamente, que a produção de miniestacas responda apenas para o fator nutrição. O processo de produção de brotações é dinâmico, alterando-se a cada coleta, sendo um ou outro elemento nutricional de fundamental importância naquele momento do processo fisiológico. Em relação à parte nutricional e suas implicações no processo de produção é de fundamental importância, a análise da planta como um todo incluindo a solução nutritiva, pois, no conjunto de fatores que interferem na produção de brotações, deve-se considerar o substrato, as condições ambientais e o manejo de coleta e condução das minicepas.

4.2.2 Enraizamento de miniestacas de *P. taeda*

As variáveis solução nutritiva e coleta e a interação desses fatores foram estatisticamente significativas ($p < 0,01$) para a porcentagem de enraizamento indicando que seus efeitos não são independentes (Anexo 19).

QUADRO 4 - COMPARAÇÃO DAS MÉDIAS DE ENRAIZAMENTO DE MINIESTACAS COLHIDAS DE MINICEPAS DE *P. taeda*, CULTIVADAS EM SISTEMA DE SUBIRRIGAÇÃO COM DIFERENTES SOLUÇÕES NUTRITIVAS.

Solução Nutritiva	Médias de enraizamento*
7	37,3 a
8	29,6 b
6	29,7 b
1	28,8 b
4	28,1 b
5	27,2 b
2	21,3 b
3	19,6 b

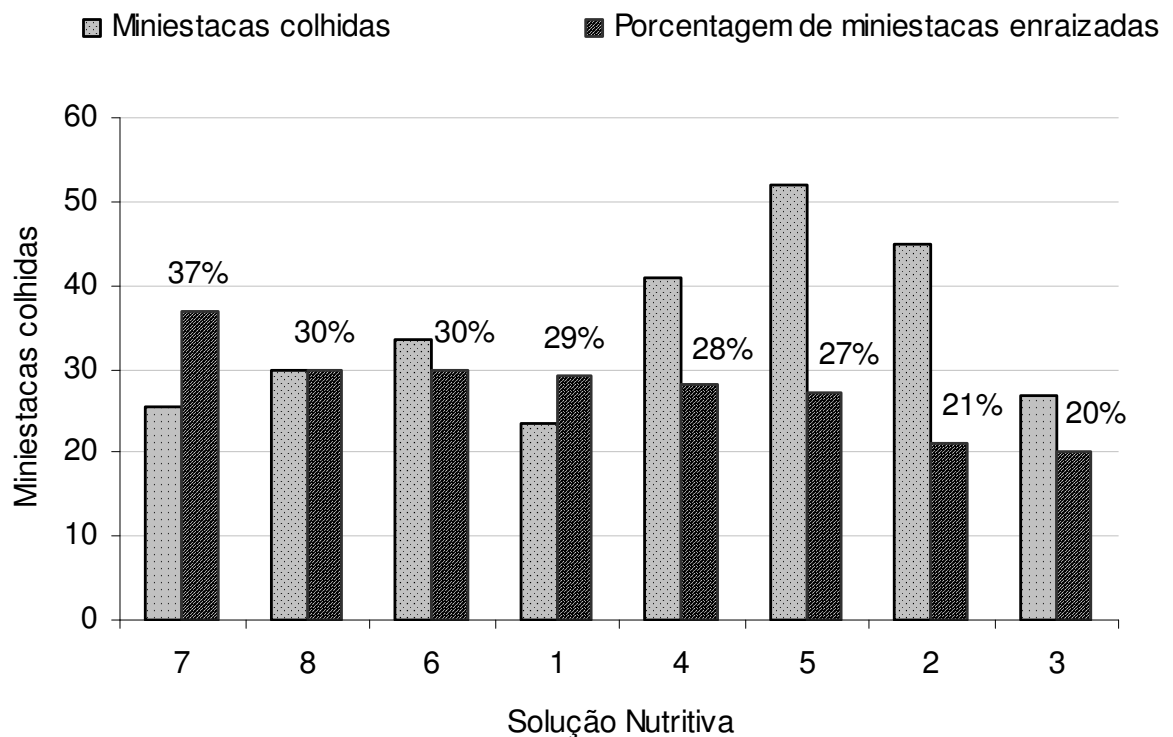
*Médias seguidas das mesmas letra minúscula não diferem significativamente pelo Teste S-N-K a 5% de probabilidade.

Considerando os resultados do teste de comparação de médias para porcentagem de enraizamento de miniestacas pode-se verificar que o melhor enraizamento de miniestacas foi obtido com o tratamento 7, com enraizamento médio de 37,3% (Quadro 4). As demais soluções nutritivas testadas, apresentaram médias de enraizamento que não diferiram estaticamente entre si.

Baseando-se nestes resultados e em ALFENAS et al. (2004), conclui-se que o emprego de soluções nutritivas balanceadas garante o equilíbrio nutricional das minicepas, o que é essencial para a obtenção de índices satisfatórios de enraizamento em sistemas de propagação. Em termos nutricionais o sistema de inundação temporária ou subirrigação por capilaridade em tanques de hidroponia é o ideal, pois permite melhor controle dos níveis de nutrientes da planta (ALFENAS et al., 2004). Neste sentido, XAVIER (2002) relata que a nutrição mineral pode influenciar o enraizamento das estacas de duas formas distintas, ou seja, decorrente do vigor vegetativo da planta-matriz da qual se coletam as brotações e do próprio

estado nutricional do material coletado, conforme observado neste estudo, onde o fator solução nutritiva foi significativo para a porcentagem de enraizamento das miniestacas, confirmando a necessidade de fertilização das minicepas com vistas a produção (Gráfico 6).

GRÁFICO 6 – NÚMERO MÉDIO DE MINIESTACAS DE *P. taeda* PRODUZIDAS E PORCENTAGEM MÉDIA DE MINIESTACAS ENRAIZADAS NAS SOLUÇÕES NUTRITIVAS.



Com base nos dados avaliados, conclui-se que o sistema de fertilização por subirrigação foi apropriado para o estudo resultando em minicepas saudáveis e miniestacas com porcentagem média de enraizamento de 37,3% na solução nutritiva sete.

Os resultados obtidos diferiram dos de NIELLA et al. (2003) que obtiveram até 80% de enraizamento das estacas utilizando mudas de *P. taeda* para formar cepas. As mudas foram podadas aos cinco meses mantendo altura de 8 cm, com a

realização de podas sucessivas a cada 2 a 5 meses e fertilização, mantendo as cepas produtivas por aproximadamente três anos.

No entanto resultados de enraizamento de 34%, semelhantes aos deste trabalho, foram obtidos por GREENWOOD; WEIR (1994) e FRAMPTON et al., (1999) para enraizamento de *P. taeda*, utilizando estacas lenhosas de um a dois anos de idade.

Para o fator coleta, a primeira coleta foi a que apresentou a melhor porcentagem de enraizamento das miniestacas (Quadro 5).

QUADRO 5 - COMPARAÇÃO DAS MÉDIAS DE ENRAIZAMENTO POR COLETA DE MINIESTACAS COLHIDAS DE MINICEPAS DE *P. taeda*.

Coletas	Médias de enraizamento por coleta*
1	52,4 a
3	40,1 b
2	36,3 b
7	34,9 b
4	31,8 b
9	15,7 c
8	14,2 c
5	12,9 c
6	10,8 c

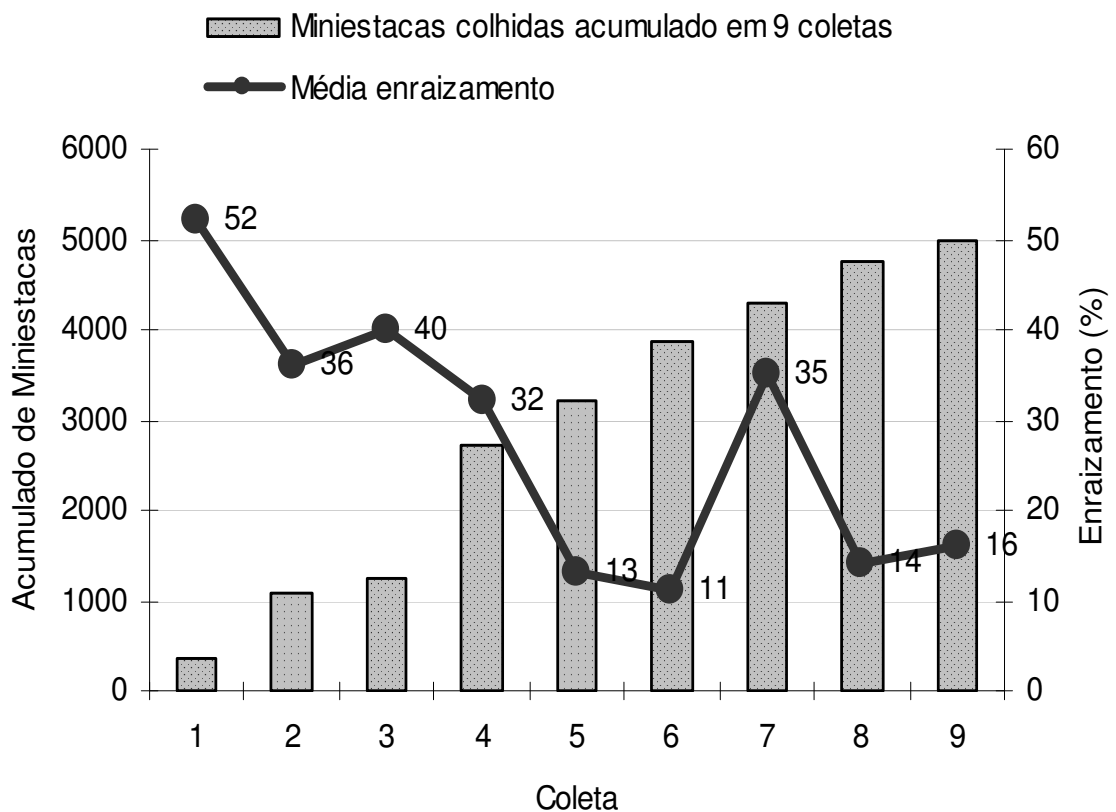
*Médias seguidas das mesmas letras minúsculas não diferem significativamente pelo Teste S-N-K a 5% de probabilidade.

Observando o Gráfico 7 , pode-se afirmar que a coleta de brotações deve ser realizada até a quarta, pois ocorre uma queda significativa na porcentagem de enraizamento a partir da quinta coleta. Este resultado confirma o fato que a idade das mudas influencia o enraizamento de miniestacas de *P. taeda*, conforme relatado por ALCANTARA (2005) onde miniestacas desta espécie, coletadas de mudas mais jovens (60 dias de idade) apresentaram 85% de enraizamento e maior número de raízes, em comparação com 8,7% quando as miniestacas foram colhidas de mudas com 150 dias de idade. Estas observações inferem que a idade das cepas fornecedoras das miniestacas influencia a formação do sistema radicial de miniestacas de *P. taeda* e que, o enraizamento diminui com o aumento da idade das mudas.

Manter a juvenilidade das cepas e conhecer a resposta do genótipo à técnica de propagação são fatores que desafiam a produção de estacas enraizadas

de *P. taeda* (HANDLEY et al., 1995). Em termos gerais, quanto à produção, vigor e sobrevivência das minicepas e porcentagem de enraizamento das miniestacas, os resultados evidenciam que para o material genético em estudo e dentro das condições de manejo adotadas, a técnica de miniestaquia pode ser considerada eficiente na produção de propágulos, visando à propagação clonal. Quanto a manutenção da juvenilidade das minicepas, parece existir uma tendência à diminuição do enraizamento em função da idade das cepas.

GRÁFICO 7 – NÚMERO ACUMULADO DE MINIESTACAS DE *P. taeda* PRODUZIDAS E PORCENTAGEM MÉDIA DE MINIESTACAS ENRAIZADAS POR COLETA.



4.2.3 Avaliação das soluções nutritivas

No Anexo 14 observa-se a concentração dos elementos na composição das soluções nutritivas. Estas foram avaliadas no dia zero e no dia 30, quando foram comparadas quanto ao tipo de complementação usada (solução nutritiva ou água). Os elementos que mais variaram nas três comparações (I = concentração média na solução nova; II = concentração na solução usada 30 dias complementada com solução nutritiva; III = concentração na solução usada 30 dias complementada com água) foram o potássio e o cálcio. A tendência geral dos elementos foi aumentar quando complementado com solução nutritiva e conseqüentemente a diminuir quando a complementação foi água. Embora estas tendências sejam evidentes, conforme análise de variância (Anexo 18), não foi observada diferença estatisticamente significativa para o número de miniestacas produzidas e enraizadas, nas duas formas de complementação (solução nutritiva ou água).

Na solução nutritiva 5, que foi o melhor tratamento para produção de brotos, a concentração média decrescente para os macronutrientes foi N>Ca>K> P>S> Mg e para micronutrientes foi Fe>B>Mn>Zn. Na solução nutritiva 7, tratamento que resultou na maior porcentagem de miniestacas enraizadas, a concentração média decrescente para os macronutrientes foi K>N>Ca>S=Mg>P e para micronutrientes foi Mn>Fe> Zn> B>Cu. Estas concentrações diferem das propostas pelos autores listados no quadro 6.

QUADRO 6 - RELAÇÃO DECRESCENTE PARA ELEMENTOS NA COMPOSIÇÃO DE SOLUÇÕES NUTRITIVAS PARA FERTILIZAÇÃO DE *Pinus* sp.

Soluções fertilizantes	Macronutrientes	Micronutrientes
Solução nutritiva 5	N>Ca>K> P>S> Mg	Fe>B>Mn>Zn.
Solução nutritiva 7	K>N>Ca>S=Mg>P	Mn>Fe> Zn> B>Cu
BUIJTENEN et al. (1975)	P>N=K=Ca>S>Mg	Fe>Mn>Zn>Cu=B=Mo
FURLAN (2002)	N>K>Ca>S>Mg>P	Fe>B>Zn>Mn>Cu
SILVEIRA (2003)	K>Ca>P=N>S>Mg	Fe>Mn>B>Zn>Cu
HIGASHI; SILVEIRA (2004)	N>K>Ca>Mg>S>P	Fe>Mn>B>Zn>Cu

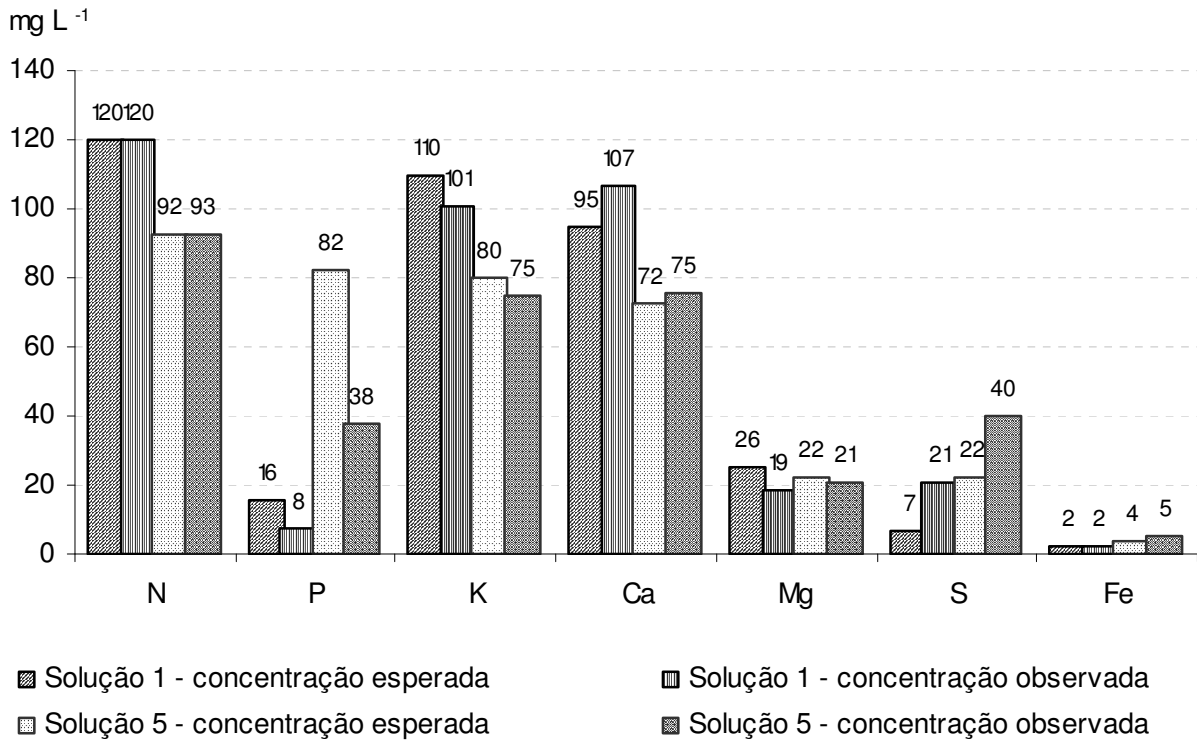
Analisando o gráfico 8, em relação a concentração dos elementos químicos na solução nutritiva preparada, observa-se que a adição destes na forma de fertilizantes, não garante a concentração esperada para os elementos na solução fertilizante.

Comparando os tratamentos 5 e 1, respectivamente o melhor para produção de brotos e menos eficiente, constata-se que para P e K, as concentrações na análise da solução nutritiva, estavam abaixo do que era esperado para estes elementos, conforme a quantidade do elemento no fertilizante comercial utilizado. As concentrações de S na solução 5 e Ca na solução 1 foram superiores ao esperado.

Os níveis dos macronutrientes N-K e Ca são ligeiramente superiores e para P, S e Fe os níveis são mais baixos na solução 1. A melhor produtividade de brotações no tratamento 5 pode ser atribuída a concentração de P, pois, sabe-se que P é limitante para a produtividade florestal, de modo que na maioria dos solos brasileiros, grandes doses de adubos fosfatados foram e são utilizados pelas empresas florestais, havendo resposta positiva à adubação fosfatada no crescimento inicial de plantas de *P. taeda* (VOGEL et al., 2005).

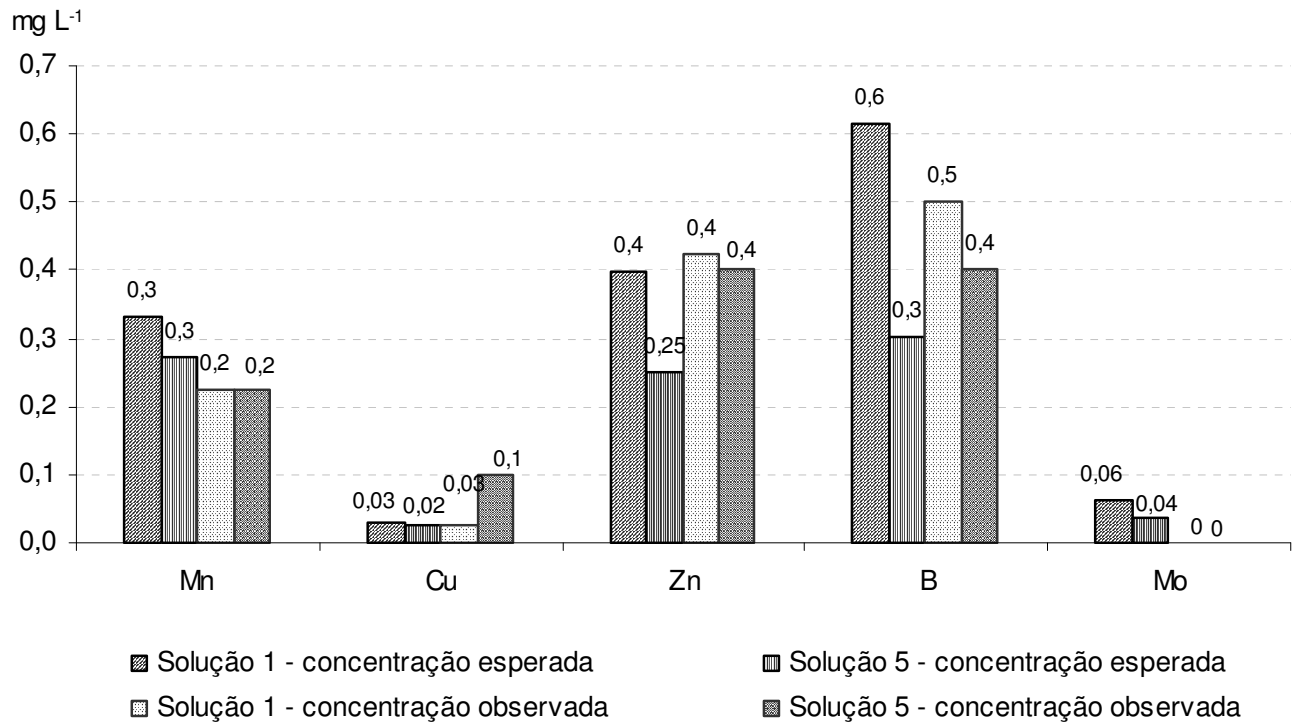
FIFE; NAMBIAR (1998), verificaram resposta significativa em crescimento da área basal, três anos após a aplicação de 60 kg de P ha⁻¹, em povoamentos de *Pinus radiata*, plantados em areias podzólicas no sul da Austrália e Oeste de Victoria, em segunda rotação. MOLINA et al. (1987) verificaram que o fósforo desempenha o papel de maior importância no crescimento em altura e produção de matéria seca foliar e sobrevivência do *Pinus maestrensis* no viveiro.

GRÁFICO 8 – COMPARAÇÃO ENTRE AS SOLUÇÕES NUTRITIVAS 1 E 5, EM RELAÇÃO À CONCENTRAÇÃO ESPERADA PARA OS MACROELEMENTOS E A CONCENTRAÇÃO NA ANÁLISE DA SOLUÇÃO NUTRITIVA.



Em relação aos micronutrientes nas soluções 5 e 1, a concentração esperada para Mn, B e Mo foi menor que a encontrada, e para Cu na solução 5 a foi maior. A adição de todos os micro elementos, sempre foi superior na solução nutritiva 1 (Gráfico 9).

GRÁFICO 9 – COMPARAÇÃO ENTRE AS SOLUÇÕES NUTRITIVAS 1 E 5, EM RELAÇÃO À CONCENTRAÇÃO ESPERADA PARA OS MICROELEMENTOS E A CONCENTRAÇÃO NA ANÁLISE DA SOLUÇÃO NUTRITIVA.



Comparando as soluções 7 e 3, a que resultou em maior e menor porcentagem de enraizamento de miniestacas, respectivamente, os níveis dos macronutrientes N-P-K-Mg e Fe são superiores na solução 7 e Ca e S inferiores em relação à solução 3 (Gráficos 10 e 11) e com relação aos micronutrientes a adição de todos os elementos sempre foi superior na solução nutritiva 7.

GRÁFICO 10 – COMPARAÇÃO ENTRE AS SOLUÇÕES NUTRITIVAS 3 E 7, EM RELAÇÃO À CONCENTRAÇÃO ESPERADA PARA OS MACROELEMENTOS E A CONCENTRAÇÃO NA ANÁLISE DA SOLUÇÃO NUTRITIVA.

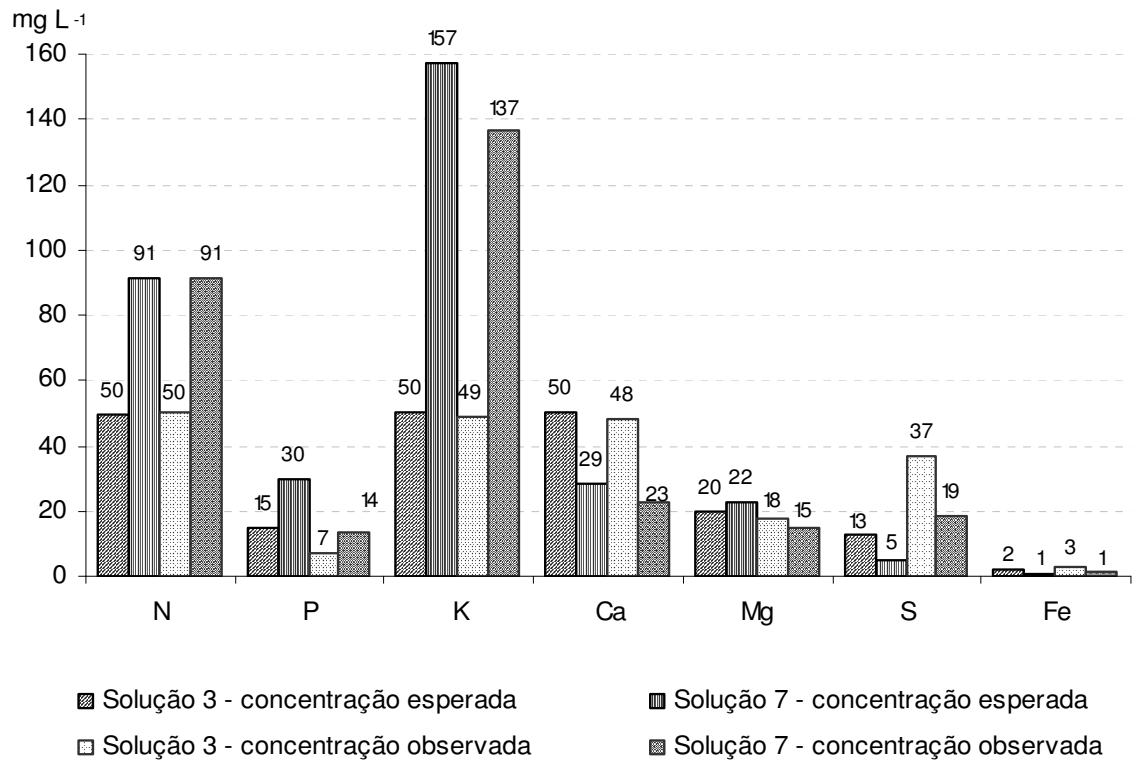
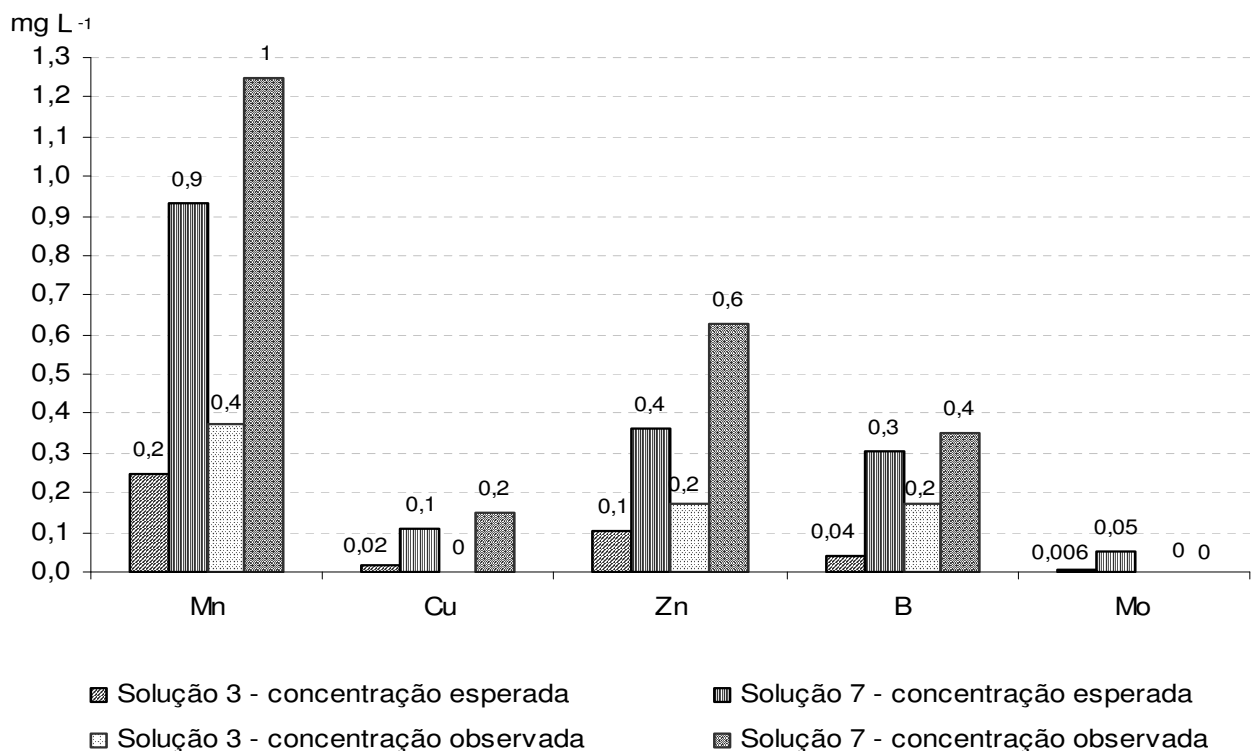


GRÁFICO 11 – COMPARAÇÃO ENTRE AS SOLUÇÕES NUTRITIVAS 3 E 7, EM RELAÇÃO À CONCENTRAÇÃO ESPERADA PARA OS MICROELEMENTOS E A CONCENTRAÇÃO NA ANÁLISE DA SOLUÇÃO NUTRITIVA.



O pH das soluções nutritivas esteve entre 6,0 e 6,9 (Anexo 13) dentro do recomendado para se obter a melhor disponibilidade de nutrientes (Gráfico 1).

A condutividade elétrica (CE) adequada para a solução nutritiva da maioria das culturas hidropônicas está entre 1,5 a 2,5 mS cm⁻¹, discordando dos valores de CE encontrados para as soluções nutritivas 7 (1,0 mS cm⁻¹) e 5 (1,1 mS cm⁻¹), respectivamente, a melhor em porcentagem de enraizamento e melhor em miniestacas produzidas. Estes valores de CE diferiram de SILVEIRA, et al. (1999), HIGASHI; SILVEIRA; GONÇALVES (2002) que citam CE em torno de 1,25 a 2,3 mS cm⁻¹ para *Eucalyptus*. A condutividade elétrica das soluções nutritivas 3, 2 e 8 estava abaixo de 1,2 mS cm⁻¹ e nas soluções 1, 4 e 6 estava entre 1,2 e 1,8 mS cm⁻¹.

4.2.4 Comportamento nutricional das minicepas

As espécies de *Pinus*, de um modo geral, são conhecidas como pouco exigentes em nutrientes, assim as características e quantidade de adubos a aplicar dependerão das necessidades nutricionais da espécie utilizada (VOGEL et al., 2005), sendo que a concentração dos nutrientes na solução devem ser corrigidas conforme a espécie de *Pinus* cultivada, tipo de substrato e época do ano.

Como os estudos em fertilização de minijardim de *Pinus* são recentes, não dispomos de muita fonte de informações sobre os efeitos da nutrição na produção de brotos ou no enraizamento das miniestacas. HIGASHI; SILVEIRA (2004) propuseram faixas consideradas adequadas de nutrientes na solução nutritiva de minijardim clonal de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (Anexo 20).

No Anexo 15 descreve-se a tendência geral da concentração de nutrientes, no tecido foliar de miniestacas, coletadas de minicepas mantidas 40, 90 e 180 dias em solução nutritiva.

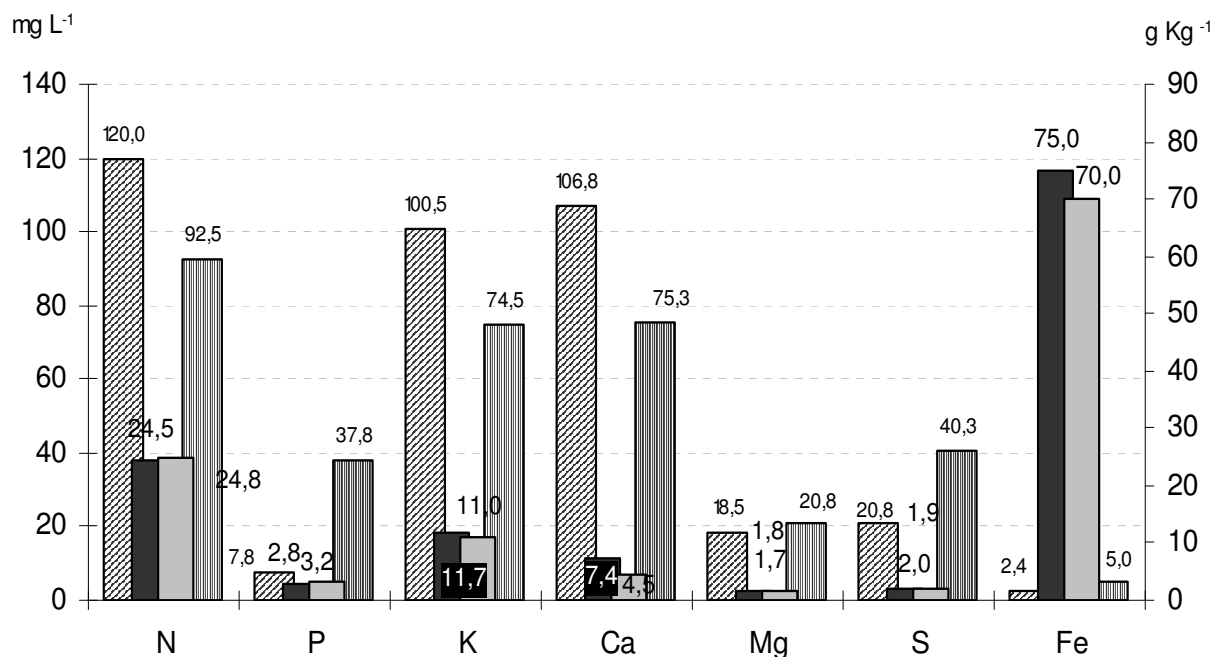
Para o tecido vegetal coletado de minicepas mantidas 180 dias nas soluções nutritivas 1 e 5 a sequência foliar média dos elementos foi a mesma. A ordem decrescente para os macronutrientes foi N>K>Ca>P>S>Mg e para as soluções nutritivas 3 e 7 foi N>K>Ca>P>Mg>S. Resultado similar a este, foi relatado por

HIGASHI; SILVEIRA (2004) e HIGASHI; PAULA; SILVEIRA (2003a) para mudas de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* de 45 dias de idade, onde a ordem do conteúdo de nutrientes foi $N > K > Ca > P > Mg > S$.

Conforme GONÇALVES (1995) para *Pinus*, observa-se a ordem $N > K > Ca > Mg > P$ sendo K, Ca e Mg os nutrientes mais acumulados. A ordem de acúmulo de nutrientes – $N > K > Ca$, relatada por GONÇALVES (1995) para *Pinus*, e por HIGASHI; SILVEIRA (2004) para *P. caribaea* var. *hondurensis* concordam com os resultados deste experimento para *P. taeda*, nas soluções nutritivas 1,3, 5 e 7.

Existiram diferenças de concentração dos elementos nas soluções nutritivas, e apesar disto, notou-se que a concentração dos elementos no tecido foliar foi muito similar para os macronutrientes nas soluções comparadas (1-5 e 3-7) (Gráficos 12 e 13).

GRÁFICO 12 – CONCENTRAÇÃO DE MACROELEMENTOS NO TECIDO FOLIAR DE MINICEPAS DE *P. taeda*, APÓS 180 DIAS EM CULTIVO NAS SOLUÇÕES NUTRITIVAS 1 E 5.



▨ Solução 1 - concentração na solução nutritiva

▨ Solução 5 - concentração na solução nutritiva

■ Solução 1 - concentração no tecido foliar 180 dias

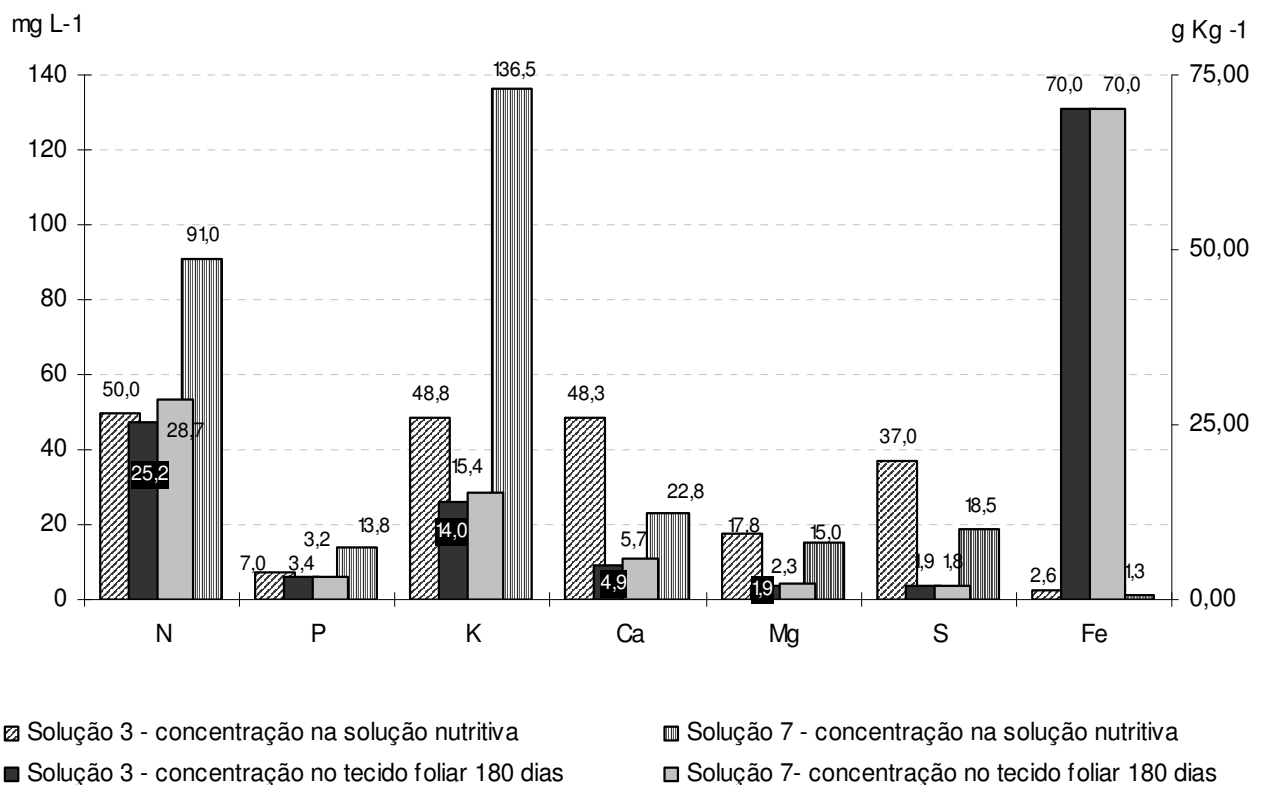
■ Solução 5 - concentração no tecido foliar 180 dias

Isto indica que apesar da adição diferenciada de nutrientes nas soluções nutritivas, e a conseqüente disponibilidade do elemento para absorção, a planta absorve somente até um certo limite, admitindo-se que a adição dos macro elementos na forma de fertilizantes foi em geral excessiva. O comportamento do Fe difere dos demais elementos, onde uma menor adição do elemento na solução fertilizante resultou em maior concentração foliar.

A maior quantidade de miniestacas foi obtida das minicepas conduzidas na solução nutritiva 5. Nesta solução, a adição de P foi superior a solução 1. O P pode ter influenciado neste resultado, pois VOGEL et al. (2005) evidenciam a importância da adição de P no crescimento inicial das plantas de *P. taeda*.

HIGASHI, et. al. (2000) para todos os clones de *Eucalyptus* spp. avaliados, constataram uma relação negativa entre o teor de magnésio e a taxa de enraizamento das miniestacas.

GRÁFICO 13 – CONCENTRAÇÃO DE MACROELEMENTOS NO TECIDO FOLIAR DE MINICEPAS DE *P. taeda*, APÓS 180 DIAS EM CULTIVO NAS SOLUÇÕES NUTRITIVAS 3 E 7.



No estudo conduzido por PAULA et al. (2000) em *Eucalyptus* spp, as doses de K influenciaram na produtividade de estacas por touça e no comprimento dos brotos, porém não interferiram na taxa de enraizamento. Este resultado difere do encontrado neste estudo para *Pinus*, onde a adição de K foi menor na solução 5 (que produziu mais brotos) em relação a solução 1 (que produziu menos brotos), e em relação ao enraizamento, na solução que apresentou maior taxa de enraizamento (solução 7) a adição de K foi maior que na solução 3.

Para os micronutrientes, a concentração no tecido foliar das acículas coletadas de minicepas mantidas 180 dias, nas soluções 1 e 5, apresentou seqüência decrescente Zn>B>Fe>Mn>Cu>Mo e Mn>Zn>Fe>B>Cu>Mo, respectivamente. Nas soluções nutritivas 3 e 7 foi Mn>Cu>B>Fe>Zn>Mo e Mn>Zn>B>Fe>Cu>Mo. Com base nas adições dos elementos via fertilizantes, explica-se que a absorção dos microelentos foi diferenciada para Mn, Cu, Zn e B. Com isto, pode-se relacionar que para Mn, Zn e B, a maior adição do elemento na solução nutritiva 7, resultou em maior absorção. HIGASHI; PAULA; SILVEIRA (2003b) encontraram a seqüência de acúmulo de micronutrientes para mudas de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* de: Fe > Mn > Zn > B > Cu, diferindo dos resultados encontrados neste estudo.

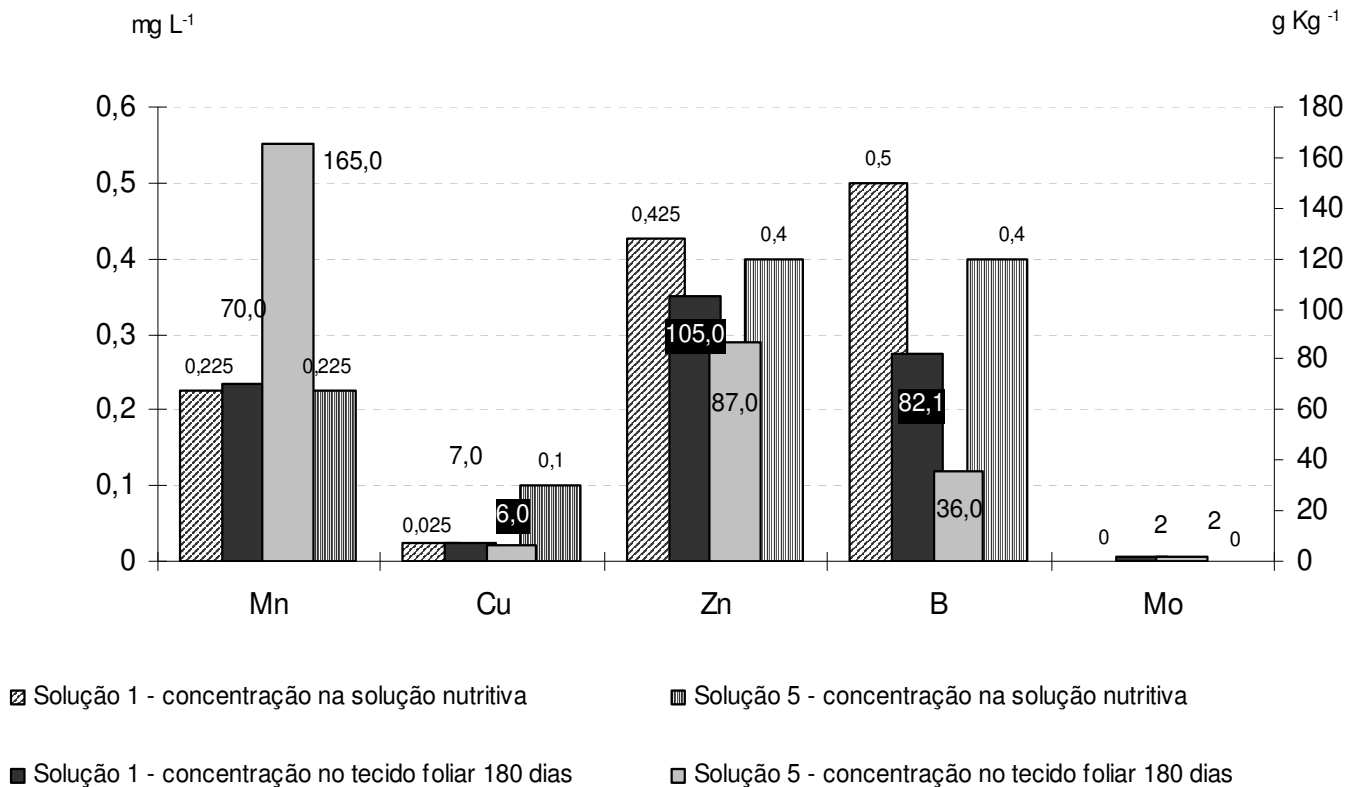
Para Cu houve um acúmulo no tecido foliar das miniestacas coletadas de minicepas mantidas na solução 3, após 180 dias.

Podemos também inferir que para Manganês, a concentração era similar nas soluções, mas no tecido foliar foi bastante superior para a solução 5 indicando maior absorção. Para Zinco e Boro a maior adição na solução nutritiva, resultou em maior absorção pela minicepa (Gráficos 14 e 15). HIGASHI; SILVEIRA (2004) encontraram para B e Mn, a máxima quantidade acumulada aos 105 dias, em mudas de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* enquanto que para os demais nutrientes, aos 135 dias, a maior quantidade acumulada de Zn foi encontrada nas acículas, independente da idade.

Em *P. taeda*, GOLDFARB et al. (1997) afirmam que as estacas coletadas de cepas com concentração de B menor que 10 ppm, enraizaram 67% contra 81-87% de enraizamento para estacas coletadas de cepas com concentração de B entre 11

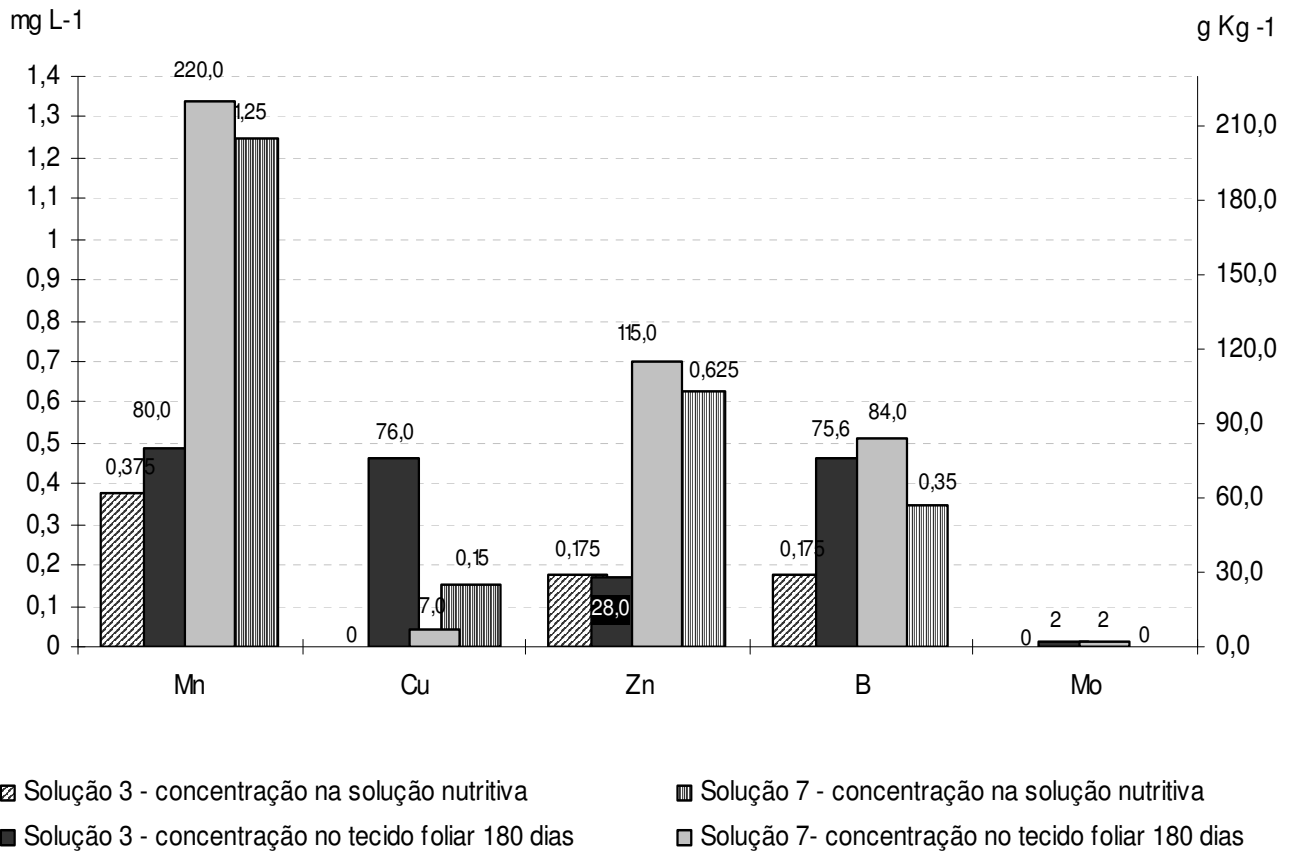
e 35 ppm, concordando com este estudo onde a solução 7, que resultou na melhor taxa de enraizamento, teve adição maior de B em relação a solução 3.

GRÁFICO 14 – CONCENTRAÇÃO DE MICROELEMENTOS NO TECIDO FOLIAR DE MINICEPAS DE *P. taeda*, APÓS 180 DIAS EM CULTIVO NAS SOLUÇÕES NUTRITIVAS 1 E 5.



Em todas as idades avaliadas, a seqüência de acúmulo de micronutrientes pelas mudas de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* foi Fe > Mn > Zn > B > Cu HIGASHI; SILVEIRA (2004). Os resultados de HIGASHI; SILVEIRA (2004) para mudas de *P. caribaea* var. *hondurensis* diferem dos encontrados neste estudo, para miniestacas de *P. taeda*, coletadas de minicepas, submetidas a fertilização.

GRÁFICO 15 – CONCENTRAÇÃO DE MICROELEMENTOS NO TECIDO FOLIAR DE MINICEPAS DE *P. taeda*, APÓS 180 DIAS EM CULTIVO NAS SOLUÇÕES NUTRITIVAS 3 E 7.



CONCLUSÕES

- Para o enraizamento de miniestacas apicais de *P. taeda*, coletadas de mudas jovens, recomenda-se o uso do substrato Plantmax[®].
- Com base nos resultados obtidos conclui-se que a miniestaquia de *P. taeda* é promissora utilizando-se material juvenil.
- Para as dez famílias de *P. taeda*, originadas de polinização aberta, os genótipos não interferiram na porcentagem de enraizamento das miniestacas.
- A formulação da solução nutritiva interferiu na porcentagem de enraizamento das miniestacas e no número de brotos produzidos pelas minicepas.
- Solução nutritiva contendo (mg L⁻¹) 92 de N; 36 de P; 69 de K; 81 de Ca; 21 de Mg; 34 de S; 4,2 de Fe; 0,3 de Mn; 0,2 de Zn e 0,4 de B) foi eficiente para produção de brotações e soluções que contém (mg L⁻¹) 91 de N; 13 de P; 132 de K; 32 de Ca; 16 de Mg; 16 de S; 1,1 de Fe; 1,9 de Mn; 0,5 de Zn; 0,1 de Cu e 0,3 de B) são indicadas para fertilização de minicepas com vistas a melhor porcentagem de miniestacas enraizadas.
- Foi observada uma melhor taxa de brotações na quarta coleta e houve uma tendência à diminuição da porcentagem de enraizamento de miniestacas com a idade da minicepa.
- O processo de produção de brotações é dinâmico, sendo a interpretação pontual decisiva para recomendar alguma intervenção nutricional.
- Para o conjunto de fatores analisados em relação à parte nutricional e suas implicações no processo de produção de miniestacas, é de fundamental importância a análise da planta como um todo, solução nutritiva e substrato.

REFERÊNCIAS

ALCANTARA, G. B. **Miniestaquia de *Pinus taeda***. Dissertação (Mestrado em Biologia), UFPR, Curitiba, 2005. 64 p.

ALFENAS, A. C.; ZAUZA, E. A. V.; MAFIA, R. G.; ASSIS, T. F. **Clonagem e doenças do eucalipto**. Viçosa: Ed. Viçosa, 2004. 442 p.

ASSIS, T. F. Evolution of technology for cloning *Eucalyptus* in large scale. *In*: Simpósio Internacional IUFRO, 2001, Valdivia, **Anais...**Valdivia, 2001. 16 p.

ASSIS, T. F. **Melhoramento genético do eucalipto**. Informe Agropecuário, v.18, n. 185, 1996.

ASSIS, T. F. Propagação vegetativa de *Eucalyptus* por microestaquia *In*: Conferência IUFRO sobre silvicultura e melhoramento de eucaliptos, Salvador, 1997. **Anais....** Colombo: Embrapa, CNPF, v. 1, p. 300-304, 1997.

ASSIS, T. F.; BAUER, J. F. S.; ROSA, O. P. Efeito da redução da luz em jardins clonais sobre o enraizamento de estacas de *E. urophylla* x *E. grandis*. *In*: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO. Campos de Jordão, 1990. **Anais....** São Paulo:SBS/SBEF, v. 3, p. 454-455, 1990.

BATAGLIA, O. C.; FURLANI, P. R. Nutrição mineral e adubação para cultivos em substratos com atividade química. *In*: BARBOSA, J. G. et al. **Nutrição e Adubação de plantas cultivadas em substrato**. Viçosa, UFV, 2004. 434 p.

BERTOLOTI, G.; GONÇALVES, A. N. **Enraizamento de estacas**: especificações técnicas para construção do módulo de enraizamento. Circular Técnica IPEF, n. 94, p. 1-7, 1980.

BERTOLOTI, G.; MORA, A. L.; GONÇALVES, A. N. **Enraizamento de estacas**: de *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus tereticornis* Boletim Informativo IPEF, v. 9, n. 28, p. 73-79, 1981.

BLISKA, Jr. A.; HONÓRIO, S. L. **Cartilha tecnológica de hidroponia**. Campinas: Faculdade de Engenharia Agrícola, 1996. 50 p.

BORGES, E. E. L. **Enraizamento de estacas de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis***. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 1978. 78 p.

BRUNE, A. Estratégia da multiplicação vegetativa no melhoramento florestal. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 6, n. 2, p. 162-165, 1982.

BUIJTENEN, J. P.; TOLIVER, J.; BOWER, R.; WENDEL, M. Operational rooting of loblolly and slash pine cuttings. **Texas Forest Service**, n. 111, 1975.

CAMARGOS, S.L. **Diagnose de deficiência, teor e acúmulo de nutrientes em Castanheira-do-Brasil**. Tese (Doutoramento em Ciências), Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba. 1999. 90 p.

CAMPINHOS, E. N.; IANNELLI, C. M.; CARDOSO, N. G.; ALMEIDA, M. A.; ROSA, A. C. Hidrojardim Clonal na Champion: Uma otimização na produção de mudas de eucalipto. **Revista Silvicultura**, São Paulo, n. 80, p. 42-46, 2000.

CANCELA, K. C.; VIANA, J. J.; HIGA, A. R. **Estaquia de *Pinus taeda***. 2003. Disponível em: <http://www.floresta.ufpr.br/fonlines/s11.htm> - acesso em 23/09/2005.

CARRERA GARCIA, M. V. S. La propagacion vegetativa en el genero *Pinus*. **Ciência Florestal**, v. 2, n. 7, p. 3-29, 1977.

CHAPERON, H. Vegetative propagation of *Eucalyptus*. In: Simpósio sobre Silvicultura y Mejoramiento Genético de Espécies Forestales, Buenos Aires, Argentina, 1987. **Anais....** Buenos Aires, CIEF, v.1, p. 215-232, 1987.

CHAVES, R. Q.; CORRÊA, G. F. Micronutrientes no sistema solo - *Pinus caribaea* Morelet em plantios apresentando amarelecimento das acículas e morte de plantas. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 769-778, 2003.

COOPER, M. A.; GRAÇA, M. E. C. **Perspectivas para a maximização de enraizamento de estacas de *Eucalyptus dunnii***. Circular Técnica EMBRAPA/CNPF, n. 12, p. 1-9, 1987.

DECHEN, A. R.; HAAG, H. P.; CARMELLO, Q. A. C. **Mecanismos de absorção e de translocação de micronutrientes**. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. (Eds.) Micronutrientes na agricultura. Piracicaba: POTAFOS/CNPq., p. 79-97, 1991.

DELL, B.; MALAJCZUK, N.; GROVE, T. S. **Nutrient disorders in plantation *Eucalypts***. Canberra: Australian Centre for International Agricultural Research, 1995. 104 p.

DIAZ-SALA, C.; HUTCHISON, K. W.; GOLDFARB, B.; GREENWOOD, M.S. Maturation-related loss in rooting competence by loblolly pine stem cuttings: The role of auxin transport, metabolism and tissue sensitivity. **Physiologia Plantarum**, n. 97, p. 481-490, 1996.

DRUMOND, M. A.; LIMA, P. C. F. Sombreamento e produção de mudas de leucena e cumaru. *In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO*, 1993, Curitiba. **Anais...** São Paulo:SBS-SBEF, p. 309-311, 1993.

ELDRIDGE, K., DAVIDSON, J., HARDWIID, C., Van WYK, G.. ***Eucalyptus domestication and breeding***. Oxford: Clarendon Press, 1994.

ENGEL, V. L.; POGGIANI, F. Estudo da concentração de clorofila nas folhas e seu espectro de absorção de luz em função do sombreamento em mudas de quatro espécies florestais nativas. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v. 3, p. 39-45, 1991.

EPSTEIN, E. **Nutrição mineral de plantas**: princípios e perspectivas. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1975. 341 p.

FACHINELLO, J. C. **Efeitos morfo-fisiológicos do anelamento no enraizamento de estacas lenhosas de macieira cultivar malling-merton 106**. Tese (Doutorado em Agronomia), Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1986. 93 p.

FIFE, D.N.; NAMBIAR, E.K.S. Response to phosphorus application of second rotation *Pinus radiata* on podsolised sands from planting to first thinning: implications for management. **Australian Forestry**, v. 62, p.109-119, 1998.

FLINN, D.W. Practical aspects of the nutrition of exotic conifer plantations and native eucalypt forests in Australia. **Research for Forest Management**. Mel Bourne: CSIRO, 1985. 296 p.

FOSTER, G. S. Genetic control of rooting ability of stem cuttings from loblolly pine. **Canadian Journal Forestry Research**, Ottawa, v. 20, n. 9, p. 1361-1368, 1990.

FOSTER, G. S.; STELZER, H. E.; MCRAE, J. B. **Loblolly pine cutting morphological traits: effects on rooting and field performance**. New Forest, Dordrecht, v. 19, n. 3, p. 291-306, 2000.

FRAMPTON, L. J.; GOLDFARB, B.; SURLES, S. E.; LAMBETH, C. C. Nursery rooting and growth of loblolly pine cuttings: effects of rooting solution and full-sib family. **Southern Journal Applied Forestry**, Bethesda, v. 23. n. 2, p. 108-115, 1999.

FURLAN, R. A. . Estaquia de *Pinus*: gênero segue a tendência mundial de florestas clonais. **Addubare**, Piracicaba, n. 5, 2002. 15 p.

FURLANI, P. R. **Cultivo de alface pela técnica de hidroponia** - NFT. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1995. 18 p.

FURLANI, P. R. **Instruções para o cultivo de hortaliças de folha pela técnica de hidroponia** – NFT. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1998. 30 p.

GALLEGOS-VÁSQUEZ, C. et al. **Absorción de nitrato y amonio por plantas de nopal en hidroponía**: Nitrate and ammonium Uptake by Cactus Pear in hydroponics. Terra, Bucuresti, RO, v. 18, n. 2, p. 133-139, 2000.

GOMES, A. L. **Propagação clonal**: princípios e particularidades. Série Didática, Ciências Aplicadas 1, 1987. 69 p.

GONÇALVES, J. L. M. Recomendações de adubação para *Eucalyptus*, *Pinus* e espécies típicas da Mata Atlântica. **Documentos Florestais**. Piracicaba, n. 15, p. 1-23, 1995.

GOLDFARB, B., et al. **Progress toward operational deployment of loblolly and slash pine rooted cuttings**. In Proc. 24 th South. For. Tree Improv. Conf. 1997.

GREENWOOD, M. S.; WEIR, R. J. Genetic variation in rooting ability of loblolly pine cuttings: effects of auxin and family on rooting by hypocotyl cutting. **Tree Physiology**, v. 15, n. 1, p. 41-45, 1994.

GRUSZYNSKI, C. **Resíduo agro-industrial “Casca de Tungue” como componente de substrato para plantas**. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia), Faculdade de Agronomia, UFRGS, Porto Alegre, 2002. 99 p.

HAAG, H. P.; MARTINEZ, H. E. P.; MORAES, M. L. T. Micronutrientes em *Pinus caribaea* Morelet II. Níveis internos de cobre e boro sob suficiência e sob omissão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 26, n. 3, p. 419-430, 1991.

HACKETT, W. P. **Donor plant maturation and adventitious root formation**. In: DAVIES, T. D., HAISSIG, B. E., SANKHLA, N. Adventitious root formation in cuttings. Portland: Dioscorides Press, p. 11-28, 1987.

HAMANN, A. **Effects of hedging on maturation in loblolly pine**: rooting capacity and root formation. Thesis (Máster of Science Degree), State University of New York, New York. 1995. Disponível em: <http://genetics.forestry.ubc.ca/hamann/msthesis/msthesis.html> - acesso em 20/10/2004.

HANDLEY, L. W.; BECWAR, M. R.; CHESICK, E. E.; COKE, J. E.; GODBEY, A. P.; RUTTER, M. R. Research and development of commercial tissue culture systems in loblolly pine. **Tappi Journal**, v. 78, n. 5, p. 169-175, 1995.

HANSEN, J. Stock Plant lighting and adventitious root formation. **HortScience**, v. 22, n. 5, p. 746-749, 1987.

HARTMANN; H. T.; KESTER, D. E. **Plant Propagation**. New Jersey: Prentice-Hall, 1975. 662 p.

_____. **Plant Propagation: principles and practices**. 4 ed. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1983. 727 p.

HARTMANN; H. T.; KESTER, D. E.; DAVIES JUNIOR, F. T. **Plant Propagation: principles and practices**. 5 ed. New York: Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1990. 647 p.

HARTMANN; H. T.; KESTER, D. E.; DAVIES JUNIOR, F. T.; GENEVE, R. L. **Plant Propagation: principles and practices**. 6 ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1997. 770 p.

HIGASHI, E. N., et al. **Influência do estado nutricional da minitouça no enraizamento de miniestacas de *Eucalyptus* spp.** Trabalho apresentado no FertBio 2000, Santa Maria, 2000. Disponível em: <http://www.rragroflorestal.com.br/divulgacao/visualizar.asp?Arq=fertbio2000> - acesso em 15/12/2005.

HIGASHI, E.N.; SILVEIRA, R.L.A. Fertirrigação em viveiros de mudas de *Eucalyptus* e *Pinus*. In: **Fertirrigação: teoria e prática**. BOARETTO, A.E.; VILLAS BOAS, R.L.; SOUZA, W.F. PARRA, L.R.V. (Eds.) Piracicaba, v.1, p.677-725, 2004. Disponível em: http://www.nutricaoodeplantas.agr.br/site/culturas/Eucalipto_pinus/index.php - acesso em 15/12/2005.

HIGASHI, E. N.; SILVEIRA, R. L. V. A.; GONÇALVES, A. N. Nutrição e adubação em minijardim clonal hidropônico de *Eucalyptus*. **Circular técnica - IPEF**, n. 194, 2002.

HIGASHI, E. N.; SILVEIRA, R. L. V. A.; GONÇALVES, A. N. Evolução do jardim clonal de eucalipto para a produção de mudas. **IPEF Notícias**, n. 24, v. 148, 2000.

HIGASHI, E. N.; PAULA, T. A.; SILVEIRA, R. L. V. A. **Absorção de macronutrientes em *Pinus caribaea* var. *hondurensis* na fase de produção de mudas**. Trabalho apresentado no 29º Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Ribeirão Preto. 2003a. Disponível em: <http://www.rragroflorestal.com.br/divulgacao/visualizar.asp?Arq=29cbcs> - acesso em 15/12/2005.

HIGASHI, E. N.; PAULA, T. A.; SILVEIRA, R. L. V. A. **Absorção de micronutrientes em *Pinus caribaea* var. *hondurensis* na fase de produção de mudas.** Trabalho apresentado no 29º Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Ribeirão Preto. 2003b. Disponível em: <http://www.rragroflorestal.com.br/divulgacao/visualizar.asp?Arq=29cbcs> - acesso em 15/12/2005.

HORIE, T. Studies on photosynthesis and primary production of rice plants in relation to meteorological environmental. **Agricultural and Forest Meteorology**, Davis, v. 35, p.1-12, 1979.

IKEDA, H.; OSAWA, T. Lettuce growth as influenced by N source and temperature of the nutrient solution. *In*: INTERNATIONAL SOCIETY on SOLILESS CULTURE, n. 5. Wageningen. **Proceedings**...Wageningen: ISOSC, p. 273-284, 1980.

IKEMORI, Y. M. **Resultados preliminares sobre enraizamento de estacas de *Eucalyptus* spp. Aracruz:** Centro de pesquisas Florestais da Aracruz, v. 1 e 2, 1975.

INGESTAD, T. Relative addition rate external concentration: driving variables used nutrition research. **Plant Cell Environmental**, Oxford, v. 5, p. 443-53, 1982.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**, Boca Raton Press, 1984. 315 p.

KRAMER; P. J., KOLOWISKI, T. T. **Fisiologia das árvores.** Lisboa: Calouste Gulbenkian, 1972. 745 p.

LASTRA, O.; CHUECA, A.; LACHICA, M.; GORGE, J.L. Root uptake and partition of copper, iron, manganese and zinc in *Pinus radiata* seedlings grow under different copper supplies. **Plant Physiology**, v. 132, p. 16-22, 1988.

MAIA, C. M. B. F. Uso da casca de *Pinus* e o lodo biológico como substrato para produção de mudas de *Pinus taeda*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 39, 1999.

MAIA, N. B. **Produção e qualidade do óleo essencial de duas espécies de menta cultivadas em soluções nutritivas** Tese (Doutorado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998. 105 p.

MALAVASI, U. C. Macropropagação vegetativa em coníferas: perspectivas biológicas e operacionais. **Floresta e ambiente**, n. 1, p. 131-135, 1994.

MALAVOLTA, E.; CROCOMO, O. **O potássio e planta**. In: TSUIOSHI YAMADA. Potássio na agricultura brasileira. Londrina: Fundação IAPAR, 1982. 555 p.

MALAVOLTA, E. Essências florestais: eucalipto e pinus. In: MALAVOLTA, E. **Manual de calagem e adubação das principais culturas**. São Paulo: Ceres, p. 376-396, 1987.

_____. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: **princípios e aplicações**. Piracicaba, Potafos, 1989. 201 p.

_____. **Avaliação do estado nutricional das plantas**: princípios e aplicações. 2 ed. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319 p.

MALDONADO, J. M. Asimilación del nitrógeno y del azufre. In: AZCON, J; TALON. B. M. **Fisiología y bioquímica vegetal: manual de calagem e adubação das principais culturas**: São Paulo: Ceres, p. 215-236, 1987.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2 ed. London: Academic Press, 1995. 889 p.

MARTINEZ, H. E. P.; HAAG, H. P.; MORAES, M. L. T. Micronutrientes em *Pinus caribaea* Morelet III. Níveis internos de ferro, manganês e zinco, sob suficiência e sob omissão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 27, n. 9, p. 1339-1353, 1992.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. 3 ed. Bern: International Potash Institute, 1982. 655 p.

MOLINA, G.; HERRERO, G.; YERO, L.; SANCHEZ, J.; LOBAINA, B. Efecto de NPK sobre las posturas de *Pinus maestrensis* em viveiro y en campo. **Revista Florestal Baracoa**, v.17, n. 2, p.85-96, 1987.

MONTEREIRO, A. C. B. de A.; HIGASHI, E. N.; GONÇALVES, A. N.; RODRIGUEZ, A. P. M. A novel approach for the definition of the inorganic medium components for micropropagation of yellow passionfruit (*Passiflora edulis* Sims. F. *flavicarpa* Deg.). **In Vitro Cell. Dev. Biol. Plant** 36, p. 527-531, 2000.

MORTVEDT, J. J.; KHASAWNEH, F. E. Effects of growth responses on cationic relationships in plants. **Soil Science**, New Brunswick, v. 141, p. 200-207, 1986.

MUNIZ, M. R. A ; SGARBI, F.; HIGASHI, E. N.; SILVEIRA, R. L. V. A. **Seja doutor do seu eucalipto**. Arquivo agrônomo, Piracicaba, n. 12, 2001. 32 p.

NADOLNY, M.C. **Efeito da omissão de nutrientes no desenvolvimento e no estado nutricional de *Pinus taeda* L., durante a fase de viveiros**. Dissertação (Mestrado em Silvicultura), UFPR, 1990. Disponível em: http://www.floresta.ufpr.br/pos-graduacao/teses/resumos_silvicultura9076.doc - acesso em 10/10/2005.

NETO C. M. Silvicultura . **Revista da Madeira**, Edição Especial Pinus, n. 68, Ano 12. 2002.

NIELLA, F.; ROCHA, P.;PEZZUTTI, R.; SCHENONE, R. Manejo intensivo para la producción de estacas en plantas madres de *Pinus taeda* y *Pinus elliottii* x *caribaea*: efecto del tamaño de contenedor e intensidad lumínica. **XVIII Jornadas Forestales de Entre Ríos**. INTA y UNER. 2003.

NIELLA, F.; ROCHA, P. **Biotechnologías aplicadas a los programas de mejoramiento genético de *Pinus* sp en la región**. Jornadas de Mejoramiento Genético para Productores Forestales, Posadas, Misiones, Argentina. 15 e 16 de julho, p. 32-36. 2004 a.

_____**Biotechnologías en desarrollo en la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional de Misiones-Argentina**. Jornadas de Mejoramiento Genético para Productores Forestales, Posadas, Misiones, Argentina. 15 e 16 de julho, p. 37-41. 2004 b.

_____**Efecto del manejo del rebrote y fertilización en la producción de estacas en plantas madres de *Pinus taeda***. Jornadas de Mejoramiento Genético para Productores Forestales, Posadas, Misiones, Argentina. 15 e 16 de julho, p. 87. 2004 c.

NORBERTO, P. M. **Efeitos da época de poda, cianamida hidrogenada, irrigação e ácido indolbutírico na colheita antecipada e enraizamento de estacas de figueira (*Ficus carica* L.)**. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal de Lavras. Lavras, 1999. 89 p.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo. 1981. 440 p.

PAULA, T. A.; SILVEIRA, R. L. V. De A.; HIGASHI, E. N.; GONÇALVES, A. N. **Efeito do potássio sobre a produção e enraizamento de estacas de *Eucalyptus* spp**. Trabalho apresentado no FertBio 2000, Santa Maria, 2000. Disponível em: <http://www.rragroflorestal.com.br/divulgacao/visualizar.asp?Arq=fertbio2000> - acesso em 15/12/2005.

PENCHEL, R. M.; NEVES, D. C.; CAMPINHOS, C. N.; EVANGELISTA, A. L. DESCHAMPS, C. Otimização de parâmetros fisiológicos da propagação vegetativa por estaquia de matrizes elite de *Eucalyptus*. In: 5º Congresso Brasileiro de Fisiologia Vegetal. Lavras. **Resumos**. Lavras: UFLA, 1995. p. 83.

PERES, L. E. P. **Nutrição Mineral de Plantas**. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. http://orion.cpa.unicamp.br/sbfv/arquivos/aulas/grad01/05___nutricao_mineral/NutricaoMineral.pdf - acesso em 12/03/2004.

PEZZUTTI, R. **Território Florestal**. 2005. Disponível em: <http://www.territorioidigital.com/notaTF.aspx?c=1503168710245580>. acesso em 14/03/2005.

POGGIANI, F.; BRUNI, S.; BARBOSA, E. S. Q. **Efeito do sombreamento das mudas de três espécies florestais**. Revista do Instituto Florestal de São Paulo, São Paulo, v. 4, n. 2, p. 564-569, 1990.

REISSMANN C. B.; WISNIEWSKI C. Nutrição e fertilização florestal - Capítulo 5. **Aspectos nutricionais de plantios de Pinus**. IPEF, 2000. 427p.

REMADE. Disponível em: http://www.remade.com.br/banco_dados/silvicultura/5.php acesso em 21/09/2005.

RESH, H. M. **Cultivos hidropônicos**. nuevas técnicas de producción. 2 ed. Madrid: Mundi – Prensa, 1992. 318 p.

ROCHA, P.; NIELLA, F. Efecto de tratamientos inductivos en el enraizamiento de estacas de *Pinus elliottii* x *caribaea* y *P. taeda*. **9ª Jornadas Técnicas Forestales**. INTA-FCF-ME y RNR y T - Eldorado, Misiones, Argentina, 2002.

ROSSE, L. N.; DAVIDE, A. C.; BERTOLUCCI, F. L.; RAMALHO, M. P. Estimativa de parâmetros genéticos e fenotípicos da capacidade de rebrotamento e do enraizamento de estacas de clones de *Eucalyptus* spp. **Revista Árvore**, v. 20, n. 1, p. 51-56, 1996.

SAVVAS, D.; KARAGIANNI, V.; KOTSIRAS, A.; DEMOPOULOS, V.; KARKAMISI, I.; PAKOU, P. Interactions between ammonium and pH of the nutrient solution supplied to gerbera (*Gerbera jamesonii*) grown in soilless culture. **Plant and Soil**, v. 254, n. 2, p. 393-402, 2003.

SCARASSATI, A. **Avaliações ambiental e nutricional da produção de microcepas e microestacas de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* em sistema hidropônico em casa-de-vegetação**. Tese (Doutorado em Agronomia), UNESP - Botucatu, São Paulo, 2003. 153 p.

SGARBI, F.; SILVEIRA, R. L. V. A.; TAKASHI, E. N.; CAMARGO, M. A. F. Crescimento e produção de biomassa de clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* em condições de deficiência de macronutrientes, B e Zn. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 56, p. 69-82, 1999.

SILVA, O. R. **Enraizamento de estacas de *Eucalyptus grandis* via sistema hidropônico**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 1998. 142 p.

SILVA, L. F. Propagação vegetativa do eucalipto – a experiência da International Paper do Brasil. **IPEF Notícias**, 2001.

SILVEIRA, R. L. V. A., et al. Concentração e frequência de aplicação da solução nutritiva na produção de miniestacas de *Eucalyptus*. In: Congresso Brasileiro de Ciências do Solo, 27, Planaltina, 1999. **Anais**. Planaltina: SBCS, 1999.

SILVEIRA, R. L. V. A. **Efeito do potássio no crescimento, nas concentrações dos nutrientes e nas características da madeira juvenil de progênies de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden cultivadas em solução nutritiva**. Tese (Doutorado em Agronomia) Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000. 151 p.

SILVEIRA, R. L. V. A. ; HIGASHI, E. N. Fertirrigação na produção de mudas de *Pinus*. **Addubare**, n. 6, 2003. 15 p.

SOUZA, L. A. C. Reação de genótipos de soja ao alumínio em hidroponia e no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 10, p. 1255-1260, 2001.

STEINER, A. The universal nutrient solution. In: I INTERNATIONAL SOCIETY on Soilless Culture, 6, 1984. **Proceedings**. Lunteren: ISOC, p. 633-649, 1984.

STEINER, A. The history of mineral plant nutrition about 1860 as source of tree origin of soilless culture methods. **Soilless Culture**, v. 1, n. 1, p. 7-23, 1985.

TITON, M.; XAVIER, A.; REIS, G. G.; OTONI, W. C. eficiência das minicepas e microcepas na produção de propágulos de clones de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v. 27, n. 5, p. 619-625, 2003.

VALLE, C. F.; CALDEIRA, C. J. Fatores que afetam o enraizamento de estacas de *Eucalyptus* spp. **Boletim Informativo IPEF**, v. 6, n. 18, p. 107-117, 1978.

VALLE, C. F. Enraizamiento de estacas de *Eucalyptus* sp. **Boletim Informativo IPEF**, v. 6, n. 16, p. 1-5, 1978.

VALÊNCIA, G. La deficiencia de boro en el cafeto y su control. **Cenicafé**, Chinchina, v. 15, p. 115-25, 1964.

VALENZUELA, O.; ALORDA, M.; GARCIA, M.; GALLARDO, C.; DÍAZ, D. Substratos para la producción de plantas forestales en viveiros de la región noreste de Entre Ríos. **XVII Jornadas Forestales de Entre Ríos**. INTA y UNER. 2002.

VEGA, M. V.; MEIER, G. C.; BOVO, O. A. Efecto del genótipo sobre la propagación del género *Prosopis* aplicando la técnica de macropropagación. **9ª Jornadas Técnicas Forestales**. INTA-FCF-ME y RNR y T - Eldorado, Misiones, Argentina, 2002.

VOGEL, H. L. M.; SCHUMACHER, M. V.; STORCK, L.; WITSCHORECK, R. Crescimento inicial de *Pinus taeda* L. relacionado a doses de N, P e K. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 2, p. 199-206, 2005.

WEBER, J.; STELZER, H. **Operational rooted cuttings in southern Pines**. Western Forest and Conservation Nursery Association Conference. Proceedings, 2000.

WENDLING, I.; XAVIER, A. Gradiente de maturação e rejuvenescimento aplicado em espécies florestais. **Floresta e Ambiente**, v. 8, n. 1, p. 187-194, 2001.

WENDLING, I.; XAVIER, A.; GOMES, J. M.; PIRES, I. E.; ANDRADE, H. B. Efeito do regulador de crescimento AIB na propagação de clones de *Eucalyptus* spp. por miniestaquia. **Revista Árvore**, v. 24, n. 2, p. 187-192, 2000 a.

_____ Propagação clonal de híbridos de *Eucalyptus* spp. por miniestaquia. **Revista Árvore**, v. 24, n. 2, p. 181-186, 2000 b.

WHITEHEAD, D.; OKALI, D. U. U.; FASEHUN, F. E. Stomatal response to environmental variables in two tropical forest species during the dry season in Nigerian. **Journal of Application in Ecology**, v. 18, p. 571-587, 1981.

WISE, F.; CALDWELL, T. **Macropropagation of conifers by stem cuttings**. En: **Proceedings of the Southern regional information Exchange Group Biennial Symposium on Forest genetics: Applications of Vegetative Propagation in Forestry**. Huntsville, Alabama – Published by: Southern Forest Experiment Station, New Orleans, Louisiana, USA. p. 51-73. 1992.

XAVIER, A.; ANDRADE, H. B ; OLIVEIRA, M. L.; WENDLING, I. **Desempenho do enraizamento de microestacas e miniestacas de clones de *Eucalyptus grandis*.** Revista *Árvore*, v. 25, n. 4, p. 403-411. 2001.

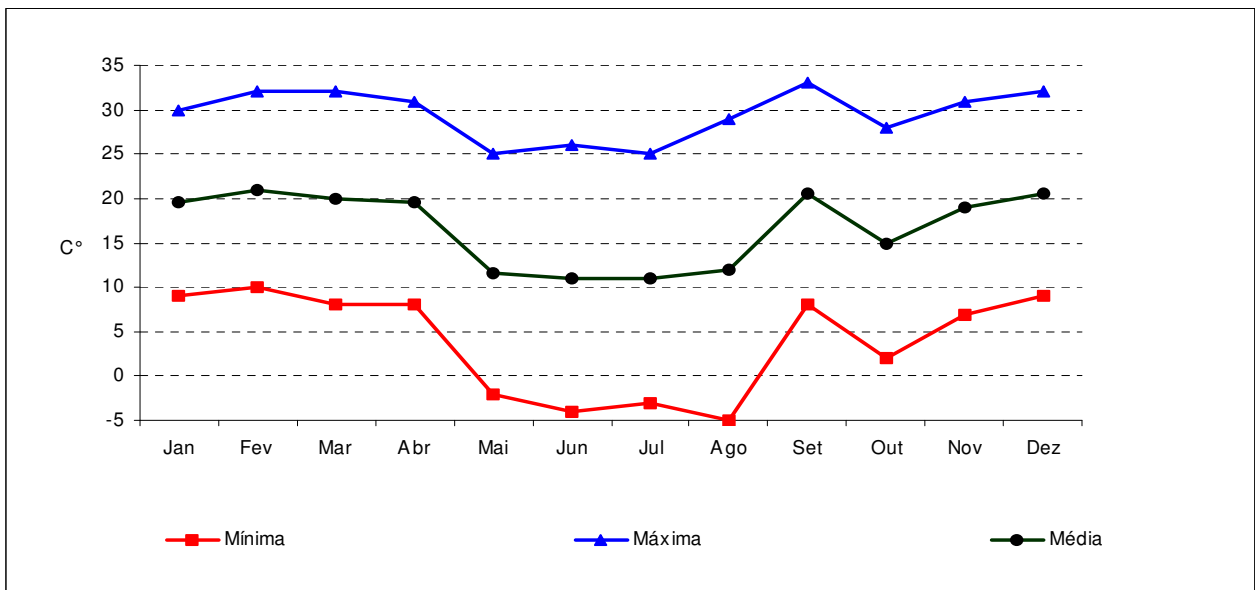
XAVIER, A. **Silvicultura clonal I** – Princípios e Técnicas de Propagação Vegetativa. (Caderno Didático). Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2002. 60 p.

XAVIER, A.; COMERIO, J. Microestaquia: Uma maximização da micropropagação de *Eucalyptus*. **Revista *Árvore***, v. 20, n. 1, p. 9-16, 1996.

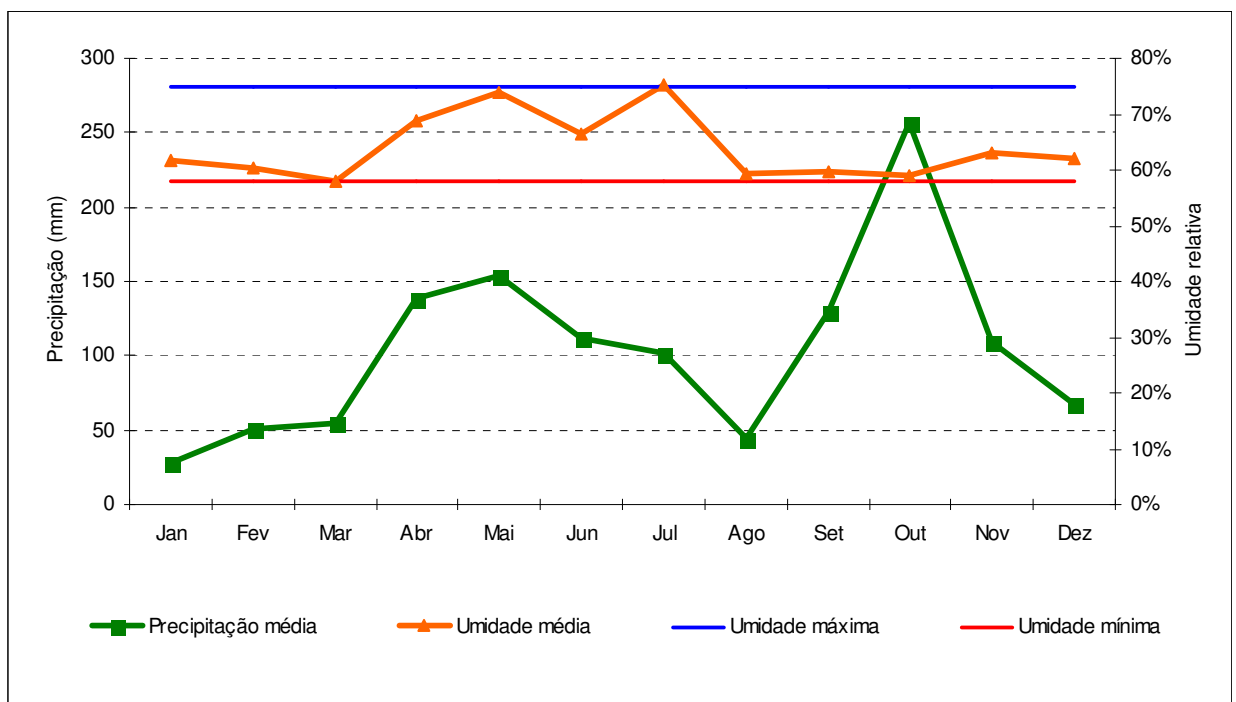
XAVIER, A.; WENDLING, I. Miniestaca na clonagem de *Eucalyptus*. **Informativo Técnico SIF**, n. 11. Viçosa, 1998.

ANEXOS

ANEXO 1 – TEMPERATURAS MÉDIAS MENSAIS DA MÍNIMA, MÉDIA E MÁXIMA EM TRÊS BARRAS, NO ANO DE 2004



ANEXO 2 – UMIDADE RELATIVA E PRECIPITAÇÃO MÉDIA MENSAL EM TRÊS BARRAS, NO ANO DE 2004





A



B



C



D

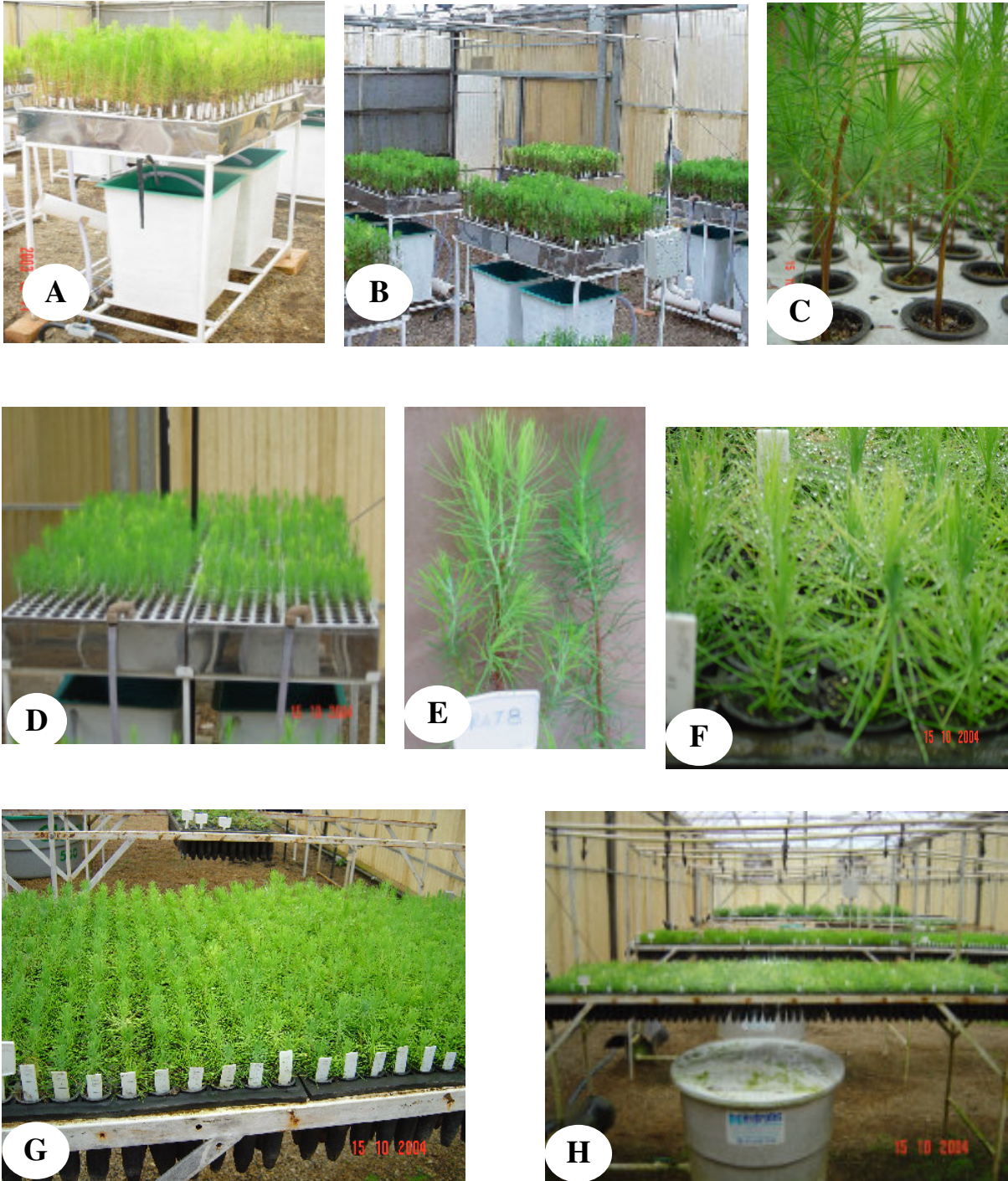


E



F

ANEXO 3 – ESTRUTURAS DE CASA DE VEGETAÇÃO UTILIZADAS PARA MINIJARDIM CLONAL E ENRAIZAMENTO DE MINIESTACAS DE *P. taeda*: A- VISTA DA ESTUFA; B- SISTEMA DE EXAUSTÃO COM *Pad Fan*; C- TERMOSTATO; D- SISTEMA DE AQUECIMENTO ELÉTRICO; E- BANCADA DE MINIJARDIM; F- VISTA DO MINIJARDIM.



ANEXO 4 – MINIJARDIM HIDROPÔNICO COM FERTILIZAÇÃO POR SUBIRRIGAÇÃO E ENRAIZAMENTO DE MINIASTACAS DE *P. taeda*: A- VISTA DO MINIJARDIM; B- VISTA DO MINIJARDIM COM MINIASTACAS; C- MINICEPAS; D- MINIJARDIM APÓS PODA DE FORMAÇÃO; E- MINICEPAS COM MINIASTACAS; F- MINIASTACAS EM TUBETES; G- MINIASTACAS EM CASA DE ENRAIZAMENTO; H- VISTA DA CASA DE ENRAIZAMENTO.

ANEXO 5 - RESUMO DAS INTERVENÇÕES REALIZADAS NO MINIJARDIM CLONAL DE *P. taeda*, NO PERÍODO DA EXPERIMENTAÇÃO.

Data	Dias acumulados	Dias	Evento
06/01/2004	0	0	Início do experimento
12/01/2004	7	7	Primeira poda de formação
23/02/2004	49	42	Segunda poda de formação
06/04/2004	94	45	Primeira coleta de miniestacas
13/04/2004	101	7	Segunda coleta de miniestacas
20/04/2005	108	7	Terceira coleta de miniestacas
27/04/2004	115	7	Quarta coleta de miniestacas
04/05/2004	122	7	Quinta coleta de miniestacas
11/05/2004	129	7	Sexta coleta de miniestacas
18/05/2004	136	7	Sétima coleta de miniestacas
25/05/2004	143	7	Oitava coleta de miniestacas
01/06/2004	150	7	Nona coleta de miniestacas
	TOTAL	150 dias	

ANEXO 6 - CONCENTRAÇÃO SUGERIDA PARA ELEMENTOS (mg L^{-1}) PARA COMPOSIÇÃO DE SOLUÇÕES NUTRITIVAS UTILIZADAS EM SISTEMA HIDROPÔNICO DE MINICEPAS DE *P. taeda* COM FERTILIZAÇÃO POR SUBIRRIGAÇÃO.

Elemento (mg L^{-1})	Tratamento							
	1	2	3	4	5	6	7	8
N	135	50	50	135	92,5	153,5	166,5	202,5
P	15	150	15	150	82,5	85,2	30	16,5
K	110	50	50	110	80	255,6	157,5	120
Ca	95	50	50	95	72,5	140,4	28,5	60
Mg	25	20	20	25	22,5	9,9	22,5	24,8
S	35	44	35	44	39,5	35,5	7,5	21,8
Fe	2	5,5	2	5,5	3,8	3,4	0,98	2,25
Mn	0,3	0,25	0,3	0,3	0,3	2,2	0,9	4,1
Cu	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03	0,5	0,1	0,1
Zn	0,4	0,1	0,1	0,4	0,25	1,2	0,38	0,56
B	0,6	0,01	0,01	0,6	0,31	5,4	0,2	0,3
Mo	0,06	0,01	0,01	0,06	0,04	0,22	-	-

Tratamento 1: FURLAN (2002);

Tratamento 2: BUIJTENEN et al. (1975);

Tratamento 3: Combinação das concentrações mínimas dos tratamentos 1 e 2;

Tratamento 4: Combinação das concentrações máximas dos tratamentos 1 e 2;

Tratamento 5: Combinação das concentrações médias dos tratamentos 1 e 2;

Tratamento 6: Recomendação Rigesa para fertilização de mudas de pinus;

Tratamento 7: Baseado na concentração dos macro e micronutrientes encontrados na análise foliar de mudas comerciais de *P. taeda* da Rigesa(*)

Tratamento 8: Baseado nos resultados de análise foliar de GONÇALVES (1975) (*)

(*) $Y = EL \times 15$ onde: Y = concentração utilizada na solução nutritiva e EL = concentração do elemento nas acículas (g Kg^{-1}), adaptado de MONTEIRO et al., (2000).

ANEXO 7 - FERTILIZANTES UTILIZADOS COMO FONTE DE NUTRIENTES NO PREPARO DAS SOLUÇÕES NUTRITIVAS UTILIZADAS NO SISTEMA HIDROPÔNICO DE MINICEPAS DE *P. taeda* COM FERTILIZAÇÃO POR SUBIRRIGAÇÃO.

Fertilizante	Marca
Nitrato de Cálcio	Hydro Fertilizantes Ltda
Kristalon Maturação	Hydro Fertilizantes Ltda
HydroCocktail	Hydro Fertilizantes Ltda
Boron Plus (B - 9%)	Hydro Fertilizantes Ltda
HUMIX	Valagro Fertilizantes
Kristasol Inicial	Hydro Fertilizantes Ltda
MAP Purificado (P - 60%)	-
Krista MKP	Hydro Fertilizantes Ltda
Krista K – 45	Hydro Fertilizantes Ltda
Sulfato de Magnésio (Mg - 9%)	-
Sulfato de Potássio (K ₂ O - 50%)	-
Nitrato de Magnésio (Mg - 15%)	-
Sulfato de Cobre (Cu- 25%)	-
Sulfato de Manganês (Mn - 26%)	-
Sulfato de Zinco (Zn - 21%)	-
Molibdato de Sódio (Mo - 39%)	-
Hydroferro	Hydro Fertilizantes Ltda

ANEXO 8 - QUANTIDADE DE FERTILIZANTES (g L⁻¹) PARA COMPOSIÇÃO DE SOLUÇÕES NUTRITIVAS UTILIZADAS EM SISTEMA HIDROPÔNICO DE MINICEPAS DE *P. taeda* COM FERTILIZAÇÃO POR SUBIRRIGAÇÃO.

TRATAMENTO								
FERTILIZANTE (g L ⁻¹)	1	2	3	4	5	6	7	8
Nitrato de Cálcio	0,5	0,263	0,263	0,5	0,381	0,74	0,15	0,315
Kristalon Maturação (laranja)	0,10	*	*	0,1	0,205	0,71	*	0,135
HydroCocktail	*	*	0,002	0,004	0,003	0,06	0,014	0,01
Boron Plus	0,0065	0,0001	*	0,00	0,002	0,05	*	0,0005
HUMIX	0,02	*	*	*	*	*	*	*
Kristasol Inicial (amarelo)	*	*	*	0,3	0,042	*	0,1	*
MAP Purificado	*	0,1	0,025	0,08	0,08	*	*	*
Krista MKP	*	0,096	*	*	*	*	*	*
Krista K – 45 (Nitrato K)	0,16	*	*	*	*	*	0,316	0,16
Sulfato de Magnésio	*	0,22	0,10	0,24	0,09	*	*	*
Sulfato de Potássio	*	*	0,1	0,06		*	*	*
Nitrato de Magnésio	0,16	*	0,07	*	0,08	*	0,145	0,15
Sulfato de Cobre	*	0,00006	*	*	*	*	*	*
Sulfato de Manganês	0,001	0,0009	0,0007	*	0,0003	*	0,0017	0,015
Sulfato de Zinco	0,0018	0,00047	0,0003	0,0015	0,0009	*	0,0004	0,0017
Molibdato de Sódio	0,00005	0,00003		0,00008	0,00004	*	*	*
Hydroferro	0,033	0,093	0,031	0,088	0,06	*	0,003	0,028

ANEXO 9 - CONCENTRAÇÃO ESPERADA DE ELEMENTOS EM mg L⁻¹ NAS SOLUÇÕES NUTRITIVAS, QUANDO UTILIZADO OS FERTILIZANTES E DOSAGENS RECOMENDADAS NO ANEXO 08.

Elemento	Tratamento								
	mg L ⁻¹	1	2	3	4	5	6	7	8
N	120,0	50,5	49,9	134,8	92,3	153,5	91,4	91,1	
P	15,6	92,6	15,0	150,0	82,2	85,2	30,0	16,2	
K	109,8	49,9	50,0	111,0	80,1	255,6	157,2	120,6	
Ca	95,0	50,0	50,0	95,0	72,4	140,4	28,5	59,9	
Mg	25,50	19,80	19,50	24,80	22,47	9,90	22,35	24,39	
S	6,86	28,60	13,00	39,20	22,37	35,50	4,79	8,67	
Fe	2,00	5,58	1,97	5,50	3,77	3,36	0,96	2,24	
Mn	0,332	0,234	0,246	0,288	0,273	2,200	0,930	4,274	
Cu	0,030	0,015	0,016	0,032	0,024	0,480	0,112	0,080	
Zn	0,398	0,099	0,103	0,395	0,249	1,200	0,364	0,557	
B	0,616	0,009	0,040	0,603	0,302	5,430	0,305	0,279	
Mo	0,064	0,012	0,006	0,060	0,035	0,220	0,049	0,0374	

ANEXO 10 - COMPOSIÇÃO E CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DOS SUBSTRATOS PLANTMAX® e VERMICULITA®

Substrato	pH	Al	Ca ⁺ Mg	H ⁺ Al	P	K	M.O.	SB	t	m	T	V
	H ₂ O	Me/100cc			mg/l		g/dm ³		%			%
Plantmax®	5,7	1,11	31,4	6,4	1301,7	1870,0	2,37	36,2	37,3	2,97	42,6	85,1
Vermiculita®	6,4	0,29	9,8	0,8	47,0	490,0	1,84	11,0	11,3	2,56	11,8	93,6

SB – soma de bases (me/100cc); t – CTC efetiva (me/100cc); m – saturação de Al; T – CTC a pH 7,0; V – saturação de bases.

ANEXO 11 - PARÂMETROS ANALISADOS NA SOLUÇÃO NUTRITIVA, TECIDO VEGETAL E ÁGUA.

Solução Nutritiva (mg L ⁻¹)	Tecido Vegetal	Água (mg L ⁻¹)
NH ₄ ⁺	N (g kg ⁻¹)	NH ₄ ⁺
NH ₃	-	-
P	P (g kg ⁻¹)	P
K	K (g kg ⁻¹)	K
Ca	Ca (g kg ⁻¹)	Ca
Mg	Mg (g kg ⁻¹)	Mg
S	S (g kg ⁻¹)	S
Fe	Fe (mg kg ⁻¹)	Fe
Mn	Mn (mg kg ⁻¹)	Mn
Cu	Cu (mg kg ⁻¹)	Cu
Zn	Zn (mg kg ⁻¹)	Zn
Na	Na (mg kg ⁻¹)	Na
B	B (mg kg ⁻¹)	B
Mo	Mo (mg kg ⁻¹)	Mo
Co	Co (mg kg ⁻¹)	Co
pH	-	pH
CE	-	CE

ANEXO 12 - ANÁLISE DA ÁGUA UTILIZADA NO PREPARO DAS SOLUÇÕES NUTRITIVAS.

Elemento	(mg L ⁻¹)
NH ₄ ⁺	n
NH ₃	n
P	a
K	1,5
Ca	4,0
Mg	2,0
S	3,0
Fe	a
Mn	a
Cu	a
Zn	a
Na	1,0
B	a
Mo	a
Co	a
Al	a
Cl	18
pH	7,2
CE	86

ANEXO 13 - CONCENTRAÇÃO (mg L⁻¹) DE ELEMENTOS ENCONTRADOS NAS SOLUÇÕES NUTRITIVAS APÓS O PREPARO.

Elementos	Tratamentos															
	1		2		3		4		5		6		7		8	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
N	n	N	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
P	7,0	7,0	46,0	47,0	7,0	7,0	61,0	64,0	36,0	36,0	36,0	38,0	13,0	13,0	8,0	9,0
K	90,0	90,0	34,0	33,0	43,0	45,0	98,0	97,0	68,0	70,0	220,0	220,0	136,0	127,0	99,0	98,0
Ca	98,0	100,0	54,0	50,0	49,0	50,0	90,0	104,0	82,0	80,0	155,0	158,0	34,0	30,0	60,0	63,0
Mg	18,0	18,0	22,0	22,0	18,0	18,0	25,0	28,0	22,0	20,0	16,0	15,0	16,0	16,0	17,0	18,0
S	15,0	19,0	35,0	40,0	31,0	36,0	56,0	58,0	34,0	33,0	43,0	41,0	14,0	17,0	16,0	19,0
Fe	2,0	1,7	5,7	6,0	2,1	2,1	5,9	6,0	4,2	4,2	3,7	3,6	1,1	1,0	2,4	2,5
Mn	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	1,5	1,6	1,8	1,9	0,3	0,2
Cu	a	A	0,1	0,1	a	a	0,1	a	a	a	0,4	0,4	0,1	0,1	0,1	0,1
Zn	0,2	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,3	0,2	0,2	1,3	1,2	0,5	0,5	0,2	0,3
B	0,4	0,4	0,2	0,2	0,2	0,1	0,5	0,5	0,4	0,3	0,8	0,8	0,3	0,3	0,3	0,2
Na	3,0	3,0	6,0	6,0	3,0	3,0	5,0	5,0	5,0	4,0	4,0	4,0	2,0	2,0	3,0	3,0
Co	a	A	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
Mo	a	A	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
Al	a	A	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
Cl	18,0	18,0	18,0	18,0	26,0	26,0	26,0	18,0	18,0	26,0	35,0	26,0	26,0	26,0	18,0	18,0
pH	6,5	6,5	6,1	6,1	6,6	6,9	6,0	6,1	6,2	6,1	6,1	6,1	6,6	6,6	6,8	6,9
CE	1247	1262	832	825	764	780	1540	1545	1138	1134	1836	1840	1017	1024	1048	1070

a = abaixo do limite de detecção
n = não analisado
I = amostra 1
II = amostra 2
pH = potencial hidrogênio iônico
CE = condutividade elétrica

ANEXO 14 - CONCENTRAÇÃO (mg L⁻¹) DE ELEMENTOS ENCONTRADOS NAS SOLUÇÕES NUTRITIVAS APÓS 30 DIAS NO SISTEMA HIDROPÔNICO COM FERTILIZAÇÃO POR SUBIRRIGAÇÃO COM O VOLUME DE SOLUÇÃO COMPLETADO COM SOLUÇÃO NUTRITIVA E COM ÁGUA.

Elementos	Tratamentos																							
	1			2			3			4			5			6			7			8		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
N	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
P	8	5	5	48	45	38	7	7	5	65	72	48	38	38	26	39	37	29	14	14	8	8	6	5
K	101	107	73	36	35	41	49	46	44	104	121	85	75	90	63	216	276	180	137	163	112	107	126	92
Ca	107	122	67	53	76	52	48	57	46	94	157	98	75	114	75	152	181	141	23	46	18	55	67	52
Mg	19	22	18	22	23	18	18	18	15	26	38	25	21	27	20	15	25	19	15	18	12	17	21	17
S	21	26	30	44	50	44	37	42	39	62	81	54	40	49	40	51	64	52	19	28	22	21	31	31
Fe	2,4	2,2	1,4	6,8	6,0	4,1	2,6	2,3	1,5	6,9	7,6	5,0	5,0	4,3	2,5	4,4	6,3	4,7	1,3	1,5	1,0	2,9	2,2	1,1
Mn	0,2	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,4	0,0	0,0	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	1,7	1,0	0,6	1,3	0,4	0,1	1,2	0,0	0,0
Cu	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,6	0,7	0,5	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,0
Zn	0,4	0,5	0,5	0,2	0,5	0,5	0,2	0,5	0,3	0,4	0,7	0,5	0,4	0,7	0,5	1,6	2,8	2,2	0,6	1,0	0,7	0,6	0,9	0,3
B	0,5	0,4	0,3	0,2	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,6	0,6	0,3	0,4	0,3	0,0	0,7	1,8	1,4	0,4	0,3	0,0	0,3	0,2	0,0
Na	5,3	8,0	7,0	7,3	11,0	9,0	6,0	6,0	6,0	8,3	13,0	9,0	7,0	11,0	7,0	6,0	9,0	7,0	4,8	6,0	5,0	4,7	7,0	6,0
Co	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Al	1,5	7,0	14,0	1,8	12,0	10,0	0,5	6,0	8,0	2,0	6,0	4,0	4,3	6,0	20,0	2,0	2,0	11,0	1,3	5,0	a	0,5	a	a
Cl	18,0	18,0	18,0	15,8	18,0	9,0	22,0	16,0	17,0	19,0	18,0	18,0	19,5	16,0	15,0	23,3	16,0	17,0	21,8	18,0	9,0	16,0	16,0	16,0

a = abaixo do limite de detecção

n = não analisado

I – solução preparada nova (médias)

II – solução usada 30 dias - complementada com solução nutritiva

III – solução usada 30 dias - complementada com água

ANEXO 15 - CONCENTRAÇÃO DE ELEMENTOS EM TECIDO FOLIAR DE MINISTACAS COLHIDAS DE MINICEPAS DE *P. taeda* MANTIDAS 40, 90 E 180 DIAS EM SISTEMA HIDROPÔNICO COM FERTILIZAÇÃO POR SUBIRRIGAÇÃO E O VOLUME DE SOLUÇÃO NUTRITIVA COMPLETADO COM SOLUÇÃO NUTRITIVA.

	TRATAMENTO																							
	1			2			3			4			5			6			7			8		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
	g Kg ⁻¹																							
N	21,8	27,4	24,5	28,7	25,9	28,4	25,9	22,4	25,2	18,1	39,2	27,7	21,0	23,4	24,8	19,6	26,5	23,8	19,7	22,7	28,7	17,8	21,0	27,6
P	2,5	2,6	2,8	2,9	3,2	3,6	2,5	2,8	3,4	2,8	2,9	3,6	2,4	2,8	3,2	2,7	2,6	2,8	2,5	2,8	3,2	2,6	2,5	2,5
K	13,4	14,5	11,7	12,2	13,5	13,6	12,4	14	14	13,1	13	14,7	12,4	13,1	11	14,6	15,9	18,5	12,9	15,3	15,4	13,4	14,8	13,4
Ca	3,1	4,8	7,4	2,5	4,1	4,9	2,4	3,6	4,9	2,3	3,3	4,4	2,8	4,1	4,5	3	5,4	7,7	2,8	4,2	5,7	2,9	4,6	3,1
Mg	1,6	1,9	1,8	1,6	1,9	2	1,5	1,6	1,9	1,4	1,3	1,8	1,3	1,5	1,7	1,5	1,4	2	1,7	1,6	2,3	1,7	1,6	1,6
S	2,1	2	2	2,2	2	1,9	1,9	1,9	1,9	2,1	1,9	1,9	1,9	2	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,8	1,9	1,6	2,1
	mg K ⁻¹																							
Fe	72	60	75	62	88	90	190	67	70	78	90,2	95	75	87	70	60	65	74	56	82,5	70	56	63,8	80
Mn	100	75	70	88	110	90	74	67	80	130	260	290	85	145	165	100	340	310	165	190	220	145	100	105
Cu	6	6	7	6	7	9	6	65	76	6	8	11	6	7	6	6	7	9	6	6	7	5	5	6
Zn	48	75	105	42	64	67	48	24,7	28	47	60	78	45	65	87	48	75	130	46	78	115	54	55	84
B	30,6	130	82,1	27,7	22	28	20,9	54,9	75,6	30,6	37,2	48	23	31,6	36	131,8	142	272	35,6	42,6	84	24,8	31,2	48
Na	51,8	55,8	80,4	45	54	74,4	47,6	n	2	58	54	74,4	51,8	46,8	73,2	62,1	50,4	84	45	47,7	60	46,2	59,4	72
Co	1	n	2	1	2	1	2	1	a	n	2	1	n	2	a	n	2	1	n	2	1	n	2	2
Mo	1	2	2	1	1	1	2	a	2,52	2	1	1	2	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1

a = abaixo do limite de detecção

n = não analisado

I = 40 dias

II = 90 dias

III = 180 dias

ANEXO 16 - CONCENTRAÇÃO DE ELEMENTOS EM TECIDO FOLIAR DE MINIESTACAS COLHIDAS DE MINICEPAS DE *P. taeda* MANTIDAS 40 DIAS EM SISTEMA HIDROPÔNICO COM FERTILIZAÇÃO POR SUBIRRIGAÇÃO QUANDO O VOLUME DE SOLUÇÃO NUTRITIVA FOI COMPLETADO COM SOLUÇÃO NUTRITIVA E COM ÁGUA

Elemento	Tratamento																	
	1		2		3		4		5		6		7		8		9	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	II	
	g Kg ⁻¹																	
N	21,8	23,8	28,7	21,0	25,9	17,2	18,1	22,4	21,0	25,2	19,6	24,8	19,7	16,1	17,8	23,8	19,6	
P	2,5	2,5	2,9	3,1	2,5	2,5	2,8	2,7	2,4	2,6	2,7	2,6	2,5	2,6	2,6	2,6	3,4	
K	13,4	13,5	12,2	12,7	12,4	12,1	13,1	12,7	12,4	13,5	14,6	15,8	12,9	13,8	13,4	13,8	18,9	
Ca	3,1	2,4	2,5	2,3	2,4	2,4	2,3	2,5	2,8	2,7	3,0	2,8	2,8	2,3	2,9	2,6	3,8	
Mg	1,6	1,5	1,6	1,5	1,5	1,4	1,4	1,4	1,3	1,5	1,5	1,7	1,7	1,5	1,7	1,7	1,4	
S	2,1	2,0	2,2	2,3	1,9	2,0	2,1	2,0	1,9	1,8	1,9	1,8	1,9	1,8	1,9	2,0	2,2	
	mg K ⁻¹																	
Fe	72	56	62	70	190	76	78	75	75	63	60	60	56	54	56	53	76	
Mn	100	75	88	90	74	67	130	105	85	87	100	83	165	140	145	100	230	
Cu	6	6	6	6	6	7	6	6	6	5	6	6	6	6	5	6	9	
Zn	48	43	42	38	48	45	47	48	45	50	48	48	46	52	54	56	47	
B	30,60	27,40	27,70	18,40	20,90	21,20	30,60	29,90	23	23,80	131,80	136,10	35,60	38,40	24,80	24,10	48,60	
Na	51,80	55,20	45	48,30	47,60	55,90	58	49,7	51,80	50	62,10	55,20	45	45	46,20	49,70	169,70	
Co	1	1	1	a	1	a	a	1	1	a	a	1	1	1	1	1	1	
Mo	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	

a = abaixo do limite de detecção

n = não analisado

I = repetição completada a solução nutritiva com solução nutritiva

II = repetição completada a solução nutritiva com água

ANEXO 17 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA PORCENTAGEM DE ENRAIZAMENTO DE MINIESTACAS PROVENIENTES DE BROTO APICAL DE MUDAS DE DEZ FAMÍLIAS DE POLINIZAÇÃO ABERTA DE *P. taeda*, AVALIADAS 70 DIAS APÓS O ESTAQUIAMENTO EM DOIS TIPOS DE SUBSTRATOS (PLANTMAX® E VERMICULITA®).

Fator de variação	GL	QM	F calc
Substrato	1	3,501	58,627**
Família	9	0,054	0,910 ^{ns}
Substrato x Família	9	0,086	1,444 ^{ns}
Erro	60	0,060	
Total	79		
Coeficiente de variação (%)	20,77		

** = significativos a 1% de probabilidade e ns = não significativo

Dados transformados por arco seno \sqrt{x}

ANEXO 18 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA PRODUÇÃO E PORCENTAGEM DE ENRAIZAMENTO DE MINIESTACAS DE *P. taeda* COLHIDAS DE MINICEPAS, CULTIVADAS EM SISTEMA DE SUBIRRIGAÇÃO COM DIFERENTES SOLUÇÕES NUTRITIVAS COMPLEMENTADAS COM SOLUÇÃO NUTRITIVA E COM ÁGUA.

Fator de variação	GL	Estacas coletadas		Porcentagem de enraizamento	
		QM	F calc	QM	F calc
Solução nutritiva	7	9,894	2,23 ^{ns}	0,074	1,14 ^{ns}
Complemento da solução nutritiva	1	4,846	1,09 ^{ns}	0,003	0,04 ^{ns}
Solução nutritiva x Complemento	7	1,243	0,28 ^{ns}	0,020	0,30 ^{ns}
Erro	128	4,419		0,065	
Total	143				
Coeficiente de variação (%)		38,0%		48,4%	
Transformação de dados		$\sqrt{x+0,5}$		arco seno \sqrt{x}	

** = significativo a 1% de probabilidade; ns = não significativo

ANEXO 19 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA PRODUÇÃO E PORCENTAGEM DE ENRAIZAMENTO DE MINIESTACAS DE *P. taeda* COLHIDAS DE MINICEPAS, CULTIVADAS EM SISTEMA DE SUBIRRIGAÇÃO COM DIFERENTES SOLUÇÕES NUTRITIVAS, AVALIADAS EM NOVE COLETAS.

Fator de variação	GL	Estacas coletadas		Porcentagem de enraizamento	
		QM	F calc	QM	F calc
Solução nutritiva	7	9,894	10,718**	0,074	3,435**
Coleta	8	51,400	55,682**	0,568	26,540**
Solução nutritiva x Coleta	56	1,814	1,964**	0,041	1,928**
Erro	72	0,923		0,021	
Coeficiente de variação (%)		17,37%		27,88%	
Transformação de dados		$\sqrt{x+0,5}$		arco seno \sqrt{x}	

** = significativos a 1% de probabilidade

ANEXO 20 - INTERPRETAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL DE MINIJARDIM CLONAL DE *Pinus caribaea* var *hondurensis*.

	Alto	Adequado	Baixo	Deficiente
Macronutrientes	g kg ⁻¹			
N	>27	20-27	16-20	<16
P	>2,7	1,8-2,7	1,4-1,8	<1,4
K	>15	10-15	8-10	<8
Ca	>8	4-8	3,2-4,0	<3,2
Mg	>3,2	2,0-3,2	1,6-2,0	<1,6
S	>2,0	1,3-2,0	1,0-1,3	<1,0
Micronutrientes	mg kg ⁻¹			
B	>30	20-30	16-2	<16
Cu	>10	6-10	4-6	<4
Fe	>200	100-200	70-100	<70
Mn	>300	120-300	90-120	<90
Zn	>40	25-40	20-25	<20

Fonte: Higashi & Silveira (2004).